

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
FÍSICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL



**“Optimización del proceso de producción de Ácido
Bórico CQ e Inkabor Meta en la línea 2 y 3
(producción por batch) en la empresa INKABOR
S.A.C. aplicando técnicas de simulación”**

Tesis presentada por la Bachiller:
RENATA LORENA VALDIVIA PAREDES

Para obtener el Título Profesional de:
INGENIERO INDUSTRIAL

**AREQUIPA – PERÚ
2015**



A MIS PAPAS:

Por su apoyo incondicional, paciencia,
confianza y motivación para siempre
superarme y salir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a los Maestros del Programa Profesional de Ingeniería Industrial por su confianza, constante apoyo, amistad y respeto durante toda la formación profesional. Así mismo agradezco a mi asesor por su paciencia y apoyo incondicional durante este proceso de investigación.

Mi profundo agradecimiento también a la empresa Inkabor, por su confianza durante los 3 productivos años que pasé ahí. Aprendí no solo de trabajo, sino también de la vida y de la amistad. Siempre estarán en mi corazón porque son una familia para mí.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales funciones del Ingeniero Industrial es optimizar los procesos de cualquier índole, por ello es que en este trabajo de investigación se procederá a realizar la optimización de 02 procesos de producción de la empresa Inkabor S.A.C.

Es de vital importancia que estos 02 procesos productivos se optimicen con la menor inversión y el mayor beneficio posible, ya que de acuerdo a estudio de mercado realizados se puede garantizar que la demanda de ambos productos se encuentra asegurada en el futuro y sobre todo para el producto Inkabor Meta se espera un incremento de la demanda en un futuro cercano, ya que es un producto único en el mercado de la más alta calidad y pureza hecho a la medida de las empresas más exigentes de la industria Química y de la industria de los Fertilizantes.

Se optimizará la producción de los productos Ácido Bórico CQ e Inkabor Meta en las líneas 2 y 3 (producción por batch) aplicando técnicas de simulación y utilizando para ello el Software Arena, del cual se incluye así mismo dentro del trabajo de investigación un manual, para poder entender el uso de todas las herramientas que el mismo proporciona.

Así mismo se aplicarán otras herramientas propias de la Ingeniería Industrial para poder reforzar todo el trabajo de investigación y hacerlo más completo y descriptivo.

RESÚMEN

La tesis se realiza en la ciudad de Arequipa en el Distrito de Cerro Colorado, en donde se encuentra ubicada la empresa Inkabor S.A.C. y consiste en realizar la simulación de la situación actual de la empresa utilizando herramientas de Simulación, así como el software Arena y otras herramientas de este sistema para identificar cuellos de botella y sus respectivas mejoras en las líneas de producción 2 y 3, en las cuales se fabrican los productos Ácido Bórico CQ e Inkabor Meta respectivamente.

Estos procesos fueron seleccionados para realizar el estudio, ya que en la actualidad se cuenta con demanda asegurada de la compra de ambos productos y con incrementos en un futuro a corto plazo. El problema con la producción de estos productos, radica en que los procesos de producción que se inician independientemente en cada una de las líneas deben juntarse para los procesos finales en la línea 2, los cuales son; centrifugación, secado y ensacado.

Se procedió al mapeo de los 2 procesos de producción, identificando los subprocesos de los mismos, para identificar las variables del modelo. Posteriormente se procede a la toma de datos de una muestra piloto, determinación del tamaño de muestra, recopilación de datos en base a los tamaños de muestra obtenidos, determinación de las distribuciones de probabilidad mediante el uso de la herramienta Input Analyzer del software Arena, validando las distribuciones mediante las pruebas de bondad de ajuste respectivas, tales como Chi Cuadrado o Kolmogorov Smirnov.

Posterior a ello se simulan los procesos en el software Arena y también se procede a la animación del mismo. Simultáneamente se seleccionan 15 indicadores para proceder a la validación del modelo para un número de 8 réplicas obtenido y se obtiene como resultado que los 15 indicadores seleccionados, validan y coinciden con la realidad.

Una vez validado y animado el modelo, se procede a la busca de mejoras para reducir los tiempos de espera en los procesos de centrifugado y secado en la línea 2 y se utiliza la herramienta OptQuest, la cual sugiere 2 propuestas pero se opta por elegir la primera de ellas. Esta optimización sugiere incrementar la capacidad de la centrifuga de la línea 2 al doble y del secador al triple, lo cual incrementaría la utilidad anual en escenario promedio en \$ 24,696.00, pudiendo llegar a ser, en un escenario optimista un incremento de \$ 78,744.00.

Finalmente se evalúa la inversión que requiere esta mejora propuesta, resultando un monto de \$11,300.00 el cual podría costearse sólo con el incremento de utilidad, pudiendo pagarse esta inversión en un escenario promedio en menos de 6 meses y en un escenario optimista en menos de 2 meses.

La empresa actualmente se encuentra en la implementación de estas mejoras al visualizar el incremento de utilidad significativo.

ABSTRACT

The thesis takes place in the city of Arequipa in the District of Cerro Colorado, where the company Inkabor S.A.C. is located, the thesis involves the simulation of the current situation of the company using simulation tools, such as the Arena software and other tools to identify bottlenecks and improve their production lines (lines 2 and 3), in which Boric Acid CQ and Inkabor Meta products respectively are manufactured.

These processes were selected for the study because today both of them have secured demand and with increases in short-term future. The problem with the production of these products is that the production processes that are initiated independently in each of its production lines, must come together to end processes on line 2, which are; centrifugation, drying and bagging.

It proceeded with the mapping of the 2 production processes, identifying their subprocesses, to identify the variables of the model. After that it proceeds to the taking of data from a sample pilot, determination the sample size, data collection based on sample sizes obtained, determination of the probability distributions using the Input Analyzer Tool from Arena software, validating distributions by respective goodness of fit tests such as Chi Square and Kolmogorov Smirnov.

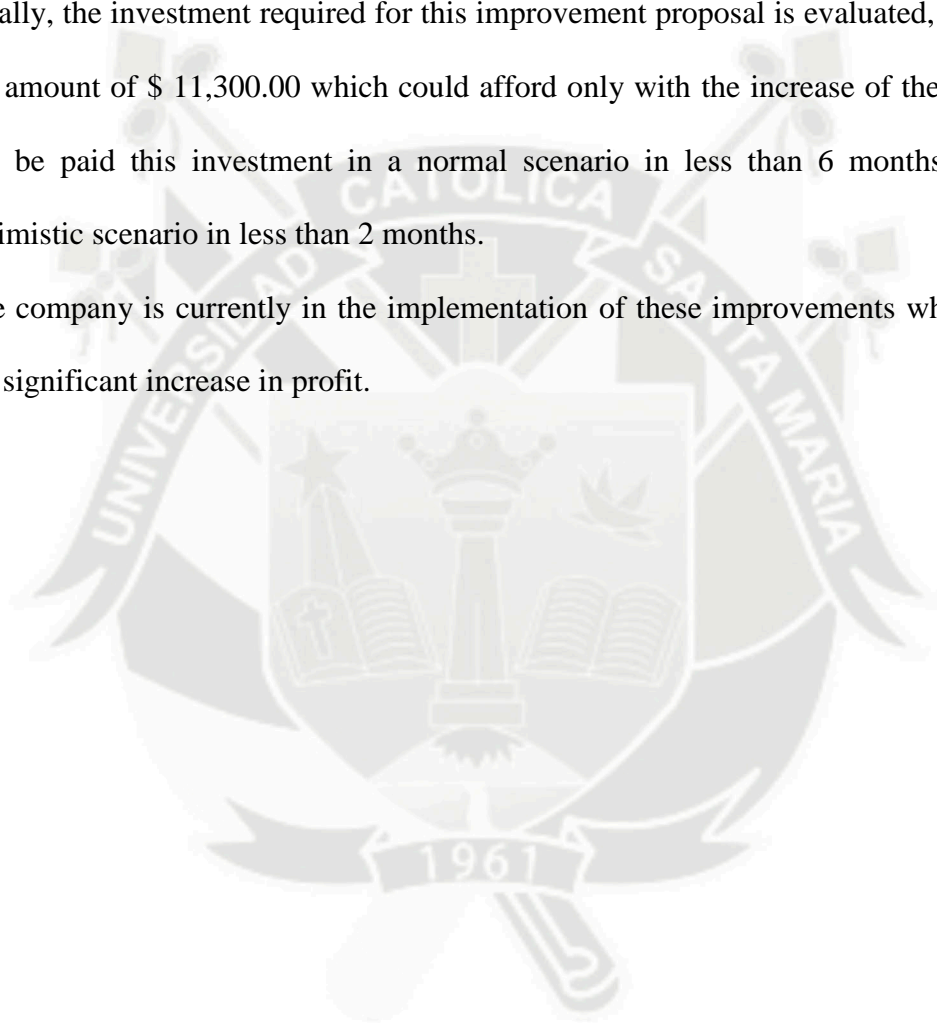
Following, this process are simulated in the software Arena and then it proceeds to the animation of it. Simultaneously 15 indicators are selected to proceed to the validation of the model for a number of 8 replicates obtained and is obtained as a result that the 15 indicators selected, validate and match with the reality.

Once validated and animated the model, it proceeds to the search for improvements to reduce waiting times in the process of centrifugation and drying on line 2. OptQuest tool is used, which suggests two proposals but it opts to choose the first one. This

optimization suggests increasing the capacity of the centrifuge on line 2 to double and to the triple the dryer on line 2, which would increase the annual profits at \$ 24,696.00 (normal scenario) , and this profits may become, in an optimistic scenario an increase of \$ 78,744.00.

Finally, the investment required for this improvement proposal is evaluated, resulting in the amount of \$ 11,300.00 which could afford only with the increase of the profits and can be paid this investment in a normal scenario in less than 6 months and in an optimistic scenario in less than 2 months.

The company is currently in the implementation of these improvements when viewing the significant increase in profit.



ÍNDICE

CAPITULO 1: Generalidades	19
1.1. TITULO	19
1.2. PROBLEMA:	19
1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:	20
1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:	20
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	22
2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	22
3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	23
1.6. LIMITACIONES DEL PROBLEMA.....	23
1.7. OBJETIVOS	23
1. Objetivo general.....	23
2. Objetivos específicos	24
1.8. TIPO DE INVESTIGACIÓN	24
1.9. HIPÓTESIS	25
1. Hipótesis General de la Investigación	25
2. Hipótesis Específica de la Investigación	25
1.10. VARIABLES	26
1.11. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	27

1.12. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	27
CAPÍTULO 2: Marco Teórico.....	33
2.1. MARCO TEÓRICO.....	33
2.1.1. Términos referentes a la simulación.....	33
2.1.2. Términos referentes al proceso de producción	63
2.1.3. Términos generales.....	72
CAPITULO 3: Situación Actual.....	74
3.1. Descripción del sistema a estudiar (Sistema Actual):	74
3.1.1. DAP	83
3.1.2. DOP	88
3.1.3. Layouts del proceso	93
3.1.4. Flujogramas	96
3.1.5. Flow-sheets.....	103
3.2. Identificación de las variables exógenas del sistema	106
3.3. Identificación de los problemas potenciales	107
CAPITULO 4: Recopilación y Análisis de Datos de Entrada	109
4.1. Plan de recopilación de información.....	109
4.1.1. Descripción del procedimiento para la recolección de datos	109
4.1.2. Las fuentes de información	110
4.1.3. El periodo de estudio	110
4.2. Análisis de datos	110

4.2.1.	Determinación de tamaños de muestra.....	110
4.2.2.	Pruebas de bondad de ajuste.....	116
4.2.3.	Determinación de distribuciones de probabilidad a usar en la simulación.	119
CAPITULO 5: Modelo de simulación.....		121
5.1.	Procesos.....	121
5.2.	Entidades.....	128
5.3.	Recursos.....	129
5.4.	Supuestos.....	135
CAPITULO 6: Validación y análisis de resultados, optimización del modelo..		141
6.1.	Validación y Análisis de resultados.....	141
6.2.	Propuestas de mejora utilizando el OptQuest.....	144
6.2.1.	Optimización 1.....	144
6.2.2.	Optimización 2.....	147
6.3.	Evaluación de las Optimizaciones.....	150
6.4.	Implementación de la optimización.....	153
Conclusiones.....		156
Recomendaciones.....		157
Bibliografía.....		158
Anexos.....		162
a.	Anexo fotográfico de la centrífuga y del secador flash de la línea 2.....	162
b.	Especificaciones técnicas y plano de los variadores de velocidad ABB.....	165

- c. Encuesta para identificar problema a solucionar que brindará mayor beneficio a la empresa Inkabor S.A.C. 167
- d. Manual operativo del simulador ARENA – PDF 168



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Determinación del tamaño de muestra	29
Gráfico 2: Modelos del sistema	42
Gráfico 3: Diagrama de módulos de un sistema utilizando Arena 14.0	43
Gráfico 4: Representación de un sistema.....	44
Gráfico 5: Distribuciones de probabilidad.....	48
Gráfico 6: Distribución uniforme (continua)	50
Gráfico 7: Distribución Exponencial	51
Gráfico 8: Distribución triangular.....	52
Gráfico 9: Distribución Normal.....	53
Gráfico 10: Distribución Poisson.....	55
Gráfico 11: Distribución binomial.....	56
Gráfico 12: Metodología de un estudio de simulación	59
Gráfico 13: Proceso de producción del H_3BO_3	67
Gráfico 14: DAP de Ácido Bórico – Parte 1	83
Gráfico 15: DAP de Ácido Bórico – Parte 2	84
Gráfico 16: DAP de Ácido Bórico – Parte 3	85
Gráfico 17: DAP de Inkabor Meta – Parte 1	86
Gráfico 18: DAP de Inkabor Meta – Parte 2	87
Gráfico 19: DOP de Ácido Bórico – Parte 1	88
Gráfico 20: DOP de Ácido Bórico – Parte 2	89
Gráfico 21: DOP de Inkabor Meta – Parte 1	90
Gráfico 22: DOP de Inkabor Meta – Parte 2	91

Gráfico 23: DOP de Inkabor Meta – Parte 3	92
Gráfico 24: Layout de Línea de Producción 3	93
Gráfico 25: Layout de Línea de Producción 2	94
Gráfico 26: Layout integral (Línea 2 y línea 3)	95
Gráfico 27: Flujograma Ácido Bórico CQ – Parte 1	96
Gráfico 28: Flujograma Ácido Bórico CQ – Parte 2	97
Gráfico 29: Flujograma Ácido Bórico CQ – Parte 3	98
Gráfico 30: Flujograma Inkabor Meta – Parte 1	99
Gráfico 31: Flujograma Inkabor Meta – Parte 2	100
Gráfico 32: Flujograma Inkabor Meta – Parte 3	101
Gráfico 33: Flujograma Inkabor Meta – Parte 4	102
Gráfico 34: Flowsheet Línea 2 – parte 1	103
Gráfico 35: Flowsheet Línea 2 – parte 2	104
Gráfico 36: Flowsheet Línea 3	105
Gráfico 37: Determinación del tamaño de muestra	111
Gráfico 38: Input Analyzer para datos de la variable Y104	117
Gráfico 39: Input Analyzer para datos de la variable Y107	118
Gráfico 40: Input Analyzer para datos de la variable Y202	118
Gráfico 41: Input Analyzer para datos de la variable Y209	119
Gráfico 42: Reactor de la línea 2	136
Gráfico 43: Cristalizadores de la Línea 2	136
Gráfico 44: Cristalizadores de la Línea 3	137
Gráfico 45: Run Set up del modelo	137
Gráfico 46: Modelo Simulado en Software Arena	139

Gráfico 47: Proceso de producción simulado en software Arena.....	140
---	-----



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ulexita Molida.....	65
Figura 2: Ácido Bórico granular	67
Figura 3: Hidróxido de Sodio en perlas	71



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables del estudio de investigación	26
Tabla 2: Muestra piloto y Cálculo del tamaño de muestra para las variables del Ácido Bórico.....	112
Tabla 3: Muestra piloto y Cálculo del tamaño de muestra para las variables del Inkabor Meta	113
Tabla 4: Base de datos de muestras tomadas para el Ácido Bórico	114
Tabla 5: Base de datos de muestras tomadas para el Inkabor Meta	115
Tabla 6: Lista de Distribuciones de probabilidad para variables del Ácido Bórico	116
Tabla 7: Lista de Distribuciones de probabilidad para variables del Inkabor Meta	116
Tabla 8: Lista de Basic Process del software Arena para el modelo simulado	121
Tabla 9: Descripción de los procesos simulados en el Software Arena	121
Tabla 10: Lista de entidades del modelo en el Software Arena.....	128
Tabla 11: Lista de recursos y su detalle dentro del modelo de simulación	130
Tabla 12: Indicadores seleccionados para validación del modelo	141
Tabla 13: Proceso de Validación del modelo	142
Tabla 14: Validación del modelo en base a 8 réplicas.....	143
Tabla 15: Recursos de control para Optimización propuesta 1	144
Tabla 16: Restricciones seleccionadas para la Optimización propuesta 1.....	145
Tabla 17: Resultados de la Optimización propuesta 1 por la herramienta OptQuest...	146
Tabla 18: Recursos de control para Optimización propuesta 2	147
Tabla 19: Restricciones seleccionadas para la Optimización propuesta 2.....	148
Tabla 20: Resultados de la Optimización propuesta 2 por la herramienta OptQuest...	149
Tabla 21: Comparación de indicadores del modelo actual vs. Optimización 1.....	150

Tabla 22: Comparación de indicadores del modelo actual vs. Optimización 2.....	151
Tabla 23: Comparación de las utilidades de las 2 optimizaciones propuestas vs utilidad actual.....	152
Tabla 24: Costo de la optimización 1 y recuperación de la inversión	154



CAPITULO 1: Generalidades

1.1. TITULO

“Optimización del proceso de producción de Ácido Bórico CQ e Inkabor Meta en la línea 2 y 3 (producción por batch) en la empresa INKABOR S.A.C. aplicando técnicas de simulación”

1.2. PROBLEMA:

Debido a la experiencia que tuve al trabajar en la empresa por un periodo de 3 años, identificamos conjuntamente con los ingenieros de producción estos cuellos de botella que incidían significativamente en los tonelajes de producción y por ende en la rentabilidad de la empresa. Básicamente el problema hallado fue la demora en la producción del producto estrella de la empresa; el Ácido Bórico CQ que se produce en la línea 2 (producción en batch), cuando se quiere producir en simultáneo el producto Inkabor Meta, el cual 60% de su proceso de producción se lleva a cabo en la línea 3 y el 40% restante debe hacerse en la línea 2. Se determinó con los ingenieros de producción que si se proponían mejoras para solucionar este cuello de botella, serían de gran importancia ya que de acuerdo a las estimaciones del área comercial, el consumo del producto Inkabor Meta se duplicará en los siguientes 2 años y la producción del producto estrella de la empresa se debe mantener a como dé lugar para cubrir la demanda del mercado y poder cubrir los costos fijos que genera la empresa.

1.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

¿Es viable optimizar la producción en simultáneo del Ácido Bórico CQ y del Inkabor Meta en la línea 2 y 3 (producción por batch) en la empresa INKABOR aplicando técnicas de Simulación usando el software ARENA?

1.4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

INKABOR es una empresa que cuenta con la más alta tecnología dentro de las empresas de producción de productos bóricos. Trabaja las 24 horas del día, en 3 turnos, pero actualmente sólo tiene un proceso de producción en línea para el Ácido Bórico, el mismo que se da en la línea 1. La otra línea de producción del Ácido Bórico, es la línea 2, la cual trabaja mediante un proceso de producción en batch.

La empresa cuenta con una tercera línea de producción que está destinada a la producción de boratos de sodio como Tetraborato de Sodio (también conocido como Bórax), Pentaborato de Sodio e Inkabor Meta que viene a ser una mezcla de Ácido Bórico y Pentaborato de Sodio.

La cuarta línea de producción de la empresa se dedica exclusivamente a la producción de Octoborato de Sodio, esta línea tiene 2 años de antigüedad en la ciudad de Arequipa, ya que anteriormente este producto se producía en la planta de Lima.

Los productos a trabajar en el presente estudio de investigación, serán el Ácido Bórico CQ de la línea 2 y el Inkabor Meta de la línea 3, ambas producciones en batch. Esto debido a que cuando ambos productos se producen en simultaneo,

generan diversos problemas que se detallaran a continuación. El Inkabor Meta inicia su producción en la línea 3 y posterior al proceso de cristalización, debe ser bombeado a la línea 2 para poder ser centrifugado y secado, debido a que la centrífuga de la línea 3 no es la adecuada para el tipo de producto que es el Inkabor Meta. Esto genera que la producción del Ácido Bórico de la línea 2 se vea demorada.

El hecho de que esta producción sea en lotes hace que sean posibles los cuellos de botella y esto básicamente se da en la cristalización y en el secado en la Línea 2.

Así mismo se tiene otro problema en el proceso de cristalización, el cual es la lentitud con la que los tanques cristalizadores por chaquetas de enfriamiento logran llegar a la temperatura final. Esto debido a que se requiere un diferencial de temperatura de casi 35°C en el caso del ácido bórico y en el caso del Inkabor Meta de 34°C , el cual se debe realizar lentamente, ya que cambios bruscos de temperatura afectarían la calidad del producto final tanto en impurezas como en granulometría.

Otro problema identificado es la baja capacidad de transporte que tiene la faja del secador y debido a esto es que se limita la producción de esta línea, la cual podría ser mucho mayor.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

De acuerdo a las estimaciones del área Comercial de Inkabor, el consumo del producto Inkabor Meta se duplicará en los siguientes 2 años y la producción del producto estrella de la empresa; Ácido Bórico CQ se debe mantener para cubrir la demanda del mercado y cubrir los costos fijos generados por la empresa, es por ello que se debe anticipar la optimización de ambos procesos de producción con miras a la rentabilidad futura de la empresa y la demanda creciente del mercado.

Así mismo hay que tener en cuenta que Inkabor se caracteriza por ofrecerle a su cliente un producto de calidad hecho a la medida, y es así como se creó el producto Inkabor Meta, el cuál es único en el mercado y cada vez está siendo aplicado en diferentes industrias gracias a su gran pureza, alta calidad y diferentes propiedades.

2. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La investigación permitirá incrementar también el rendimiento de las líneas 2 y 3 de la planta de Rio Seco de la empresa, es decir, mejorar el rendimiento de cada uno de los procesos que conlleva la producción tanto del Inkabor Meta y del Ácido Bórico definiendo los puntos estratégicos en donde sea necesario aumentar la capacidad del proceso para reducir los cuellos de botella y por ende aumentar la producción.

3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Mediante esta investigación se dará a conocer a la población de Arequipa la gran herramienta que significa la simulación y que nos puede ayudar a que cada vez las empresas de esta ciudad sean más competitivas y puedan estar al nivel de todas las empresas alrededor del mundo.

1.6. LIMITACIONES DEL PROBLEMA

La única limitación de la presente investigación es el acceso a la información y a toda la data que se requiere para llevar a cabo el estudio, ya que el acceso a la planta es limitado por temas de seguridad y la toma de datos es complicada por la larga duración de cada uno de los procesos, es por ello que se ha trabajado con datos históricos brindados por la empresa y validados por los ingenieros de producción, para que así la limitación indicada no sea un problema para realizar el estudio.

1.7. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Proponer un modelo matemático aplicando técnicas de simulación para optimizar el proceso de producción en simultáneo del ácido bórico y del Inkabor Meta en la línea 2 y 3 de la empresa Inkabor.

2. Objetivos específicos

- Incrementar alguno de los indicadores del modelo que evidencien el beneficio de la optimización propuesta gracias a las técnicas de simulación.
- Realizar un diagnóstico para identificar los cuellos de botella que se generan dentro del proceso de producción del Ácido Bórico y del Inkabor Meta en Línea 2 y 3.
- Proponer un modelo de simulación que permita generar diferentes simulaciones para determinar la conveniencia o no de implementar las mejoras propuestas, pudiendo ser estas, la implementación de nueva maquinaria o cambiar o incrementar la capacidad de algún equipo.
- Proponer soluciones adecuadas y convenientes a los problemas encontrados.
- Evaluar el modelo propuesto y determinar las mejoras obtenidas.

1.8. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para determinar el tipo de investigación se clasifica de la siguiente manera:

- Según el Objeto de Estudio: Es una investigación de Campo, ya que se realiza para comprender y resolver un problema en un contexto determinado. Se trabaja en el ambiente natural en el cual interactúa con las personas y las fuentes consultadas (empresa), de las que obtiene los datos más relevantes a

ser analizados.

- Según la extensión del Estudio: Es una investigación de Caso, ya que el estudio está basado en un caso/situación en particular.
- Según el nivel de medición y análisis de la información: Es una investigación Descriptiva, y Cuantitativa, ya que busca especificar propiedades y características del sistema a analizar, a través de la toma de datos reales para poder llegar a una descripción óptima de lo que debería ser el sistema.

1.9. HIPÓTESIS

1. Hipótesis General de la Investigación

La aplicación de un modelo de simulación a los procesos productivos del Ácido Bórico y del Inkabor Meta en la línea 2 y 3, permitirá proponer soluciones a los problemas planteados y optimizar el proceso de producción de estos productos.

2. Hipótesis Específica de la Investigación

- Plantear un modelo de simulación ayuda a optimizar el proceso de producción del ácido bórico en línea 2.
- Plantear un modelo de simulación ayuda a optimizar el proceso de producción del Inkabor Meta.

- El modelo de simulación servirá posteriormente para evaluar diferentes proyectos y mejoras sin necesidad de realizar las inversiones.

1.10. VARIABLES

Tabla 1: Variables del estudio de investigación

Tipo de Variable	Variable	Indicadores
Independiente	Modelo de simulación	Modelo de simulación
		Identificación de las variables
Dependiente	Solución de problemas	Tiempo de espera en cola
		Utilización de maquinarias y equipos
	Optimización de Procesos	Producción en TM
		Utilidad

Fuente: Propia

1. VARIABLE INDEPENDIENTE: Modelo de Simulación

- ✓ **Definición Conceptual:** Es un nuevo diseño del modelo actual de simulación que evaluará en diferentes escenarios una mejor alternativa que haga variar los valores de cada variable dependiente.
- ✓ **Definición Operativa:** Es un diseño que refleja el comportamiento óptimo en el software de simulación Arena.

2. VARIABLES DEPENDIENTES:

- Solución de problemas

- ✓ **Definición Conceptual:** solucionar los problemas de un sistema mediante la implementación de diferentes opciones que generen un beneficio invirtiendo recursos razonablemente
- ✓ **Definición Operativa:** solucionar los problemas mediante la variación de los recursos de control utilizando la herramienta OptQuest.

b. Optimización de procesos

- ✓ **Definición Conceptual:** mejora en los indicadores de los procesos mediante la variación del proceso.
- ✓ **Definición Operativa:** evaluación de la mejor manera de operar un proceso de producción y de incrementar sus indicadores.

1.11. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño del presente estudio de investigación corresponde al tipo experimental, el cual es el tipo de diseño propio de una investigación cuantitativa, ya que en este estudio estamos evaluando la data recopilada de todas las variables del sistema para lograr obtener la optimización del sistema que estamos simulando y subtipo cuasi experimento, ya que la optimización planteada se ha simulado en el software y es ahí donde se visualiza el resultado de la optimización planteada.

1.12. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

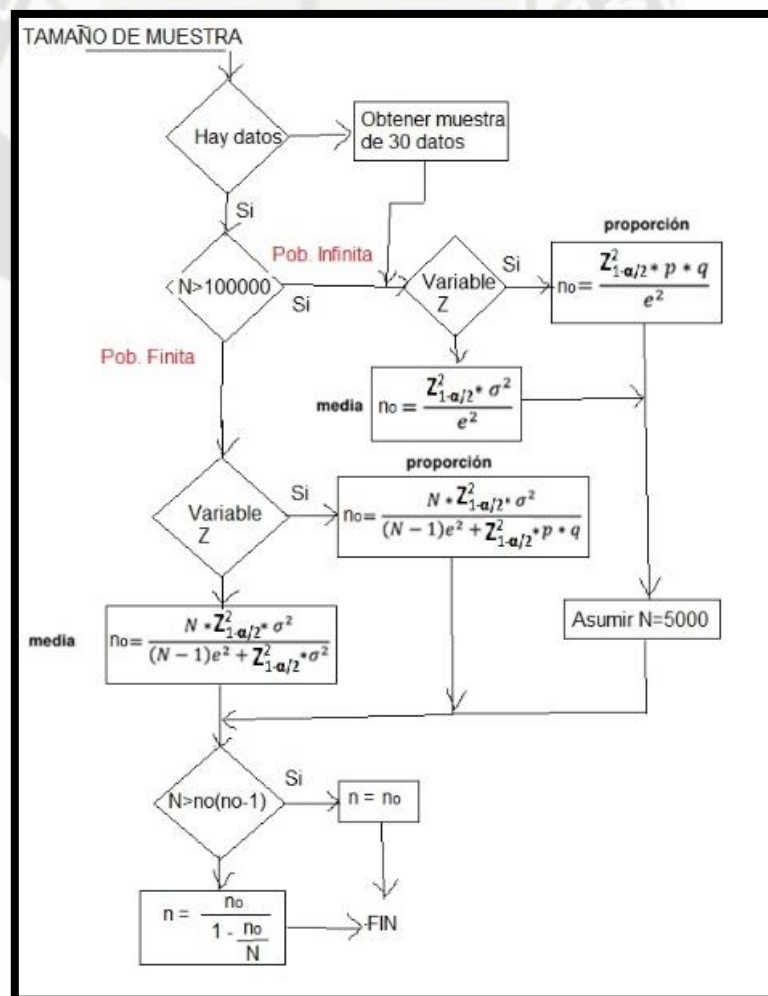
1. Recopilación de Datos del Sistema:

- Determinación de los procesos del sistema: debido a que en este estudio estamos analizando la producción de 2 productos de la empresa Inkabor con el fin de optimizar su producción conjunta, en esta parte de la recopilación de datos del sistema, se realizó una visita a planta guiada por el Gerente de Producción, el cual explicó detalladamente los procesos de producción de cada uno de los productos en campo. Así mismo acompañó su explicación con diferentes Flowsheets, Layouts de la planta y Diagramas como DAP y DOP que son anexados también en el presente estudio en el Capítulo 3. Como resultado de esta parte de la recopilación de datos obtuvimos la lista de variables exógenas del sistema, las cuales suman 13 para el Ácido bórico y 11 para el Inkabor Meta.
- Las fuentes de información para obtener la muestra de 30 datos para cada uno de los procesos determinados previamente, fue en base a data histórica corroborada por los ingenieros de planta que indicaron que la información histórica seleccionada como muestra era válida para proceder a determinar el tamaño de muestra final.

2. Análisis y tratamiento de los Datos.

- Determinación del tamaño de la muestra: para esta parte del proceso de recopilación de datos del sistema, hemos tomado una pequeña muestra piloto de 30 datos para así poder determinar el n_0 con un error máximo permitido de 5% y un nivel de confianza de 95%, asumiendo un tamaño de la población de 5000 datos. Con estos parámetros y las fórmulas que se muestra en el Gráfico 1, se obtuvieron los tamaños de muestra para todas las variables identificadas para el sistema a simular.

Gráfico 1: Determinación del tamaño de muestra



Fuente: Ingeniero Efraín Murillo – Año 2013, Arequipa - Perú

- Medición y registro de cada uno de los tiempos de los procesos que se determinaron previamente y en la cantidad requerida de acuerdo al tamaño de muestra final determinado: para la toma de tiempos de los procesos identificados, se recurrió a la consulta de datos históricos que brindó la empresa, ya que era complicado ingresar a la planta por temas de seguridad y por la longitud de los tiempos de cada uno de los procesos identificados.
- Corroboración de la data histórica obtenida, mediante la consulta de los tiempos a los expertos: Esto fue necesario hacerlo, ya que como la data era histórica, necesitaba saber si ésta había variado o no en el tiempo y se realizó una reunión con los jefes de producción que trabajan en la empresa hace más de 20 años y se verificó que la data histórica sí servía para este estudio de investigación y representaba la realidad para ambos procesos de producción.
- Pruebas de bondad de ajuste: posterior a la toma de datos se procedió a las pruebas de bondad de ajuste para determinar las distribuciones de probabilidad adecuadas para cada una de las variables definidas de acuerdo a las pruebas de chi cuadrado y kolmogorov smirnov, utilizando la herramienta Input Analyzer del Software Arena.

3. Modelado del Sistema utilizando el programa de simulación ARENA.

- En esta etapa se crean en el sistema ARENA las entidades, los procesos, los recursos, las variables de estado o atributos y se definen los supuestos para que el sistema pueda simular la realidad.

4. Simulación del proceso de producción del Ácido Bórico y del Inkabor Meta en simultáneo en las líneas 2 y 3 en las condiciones normales y modificando las variables antes establecidas.

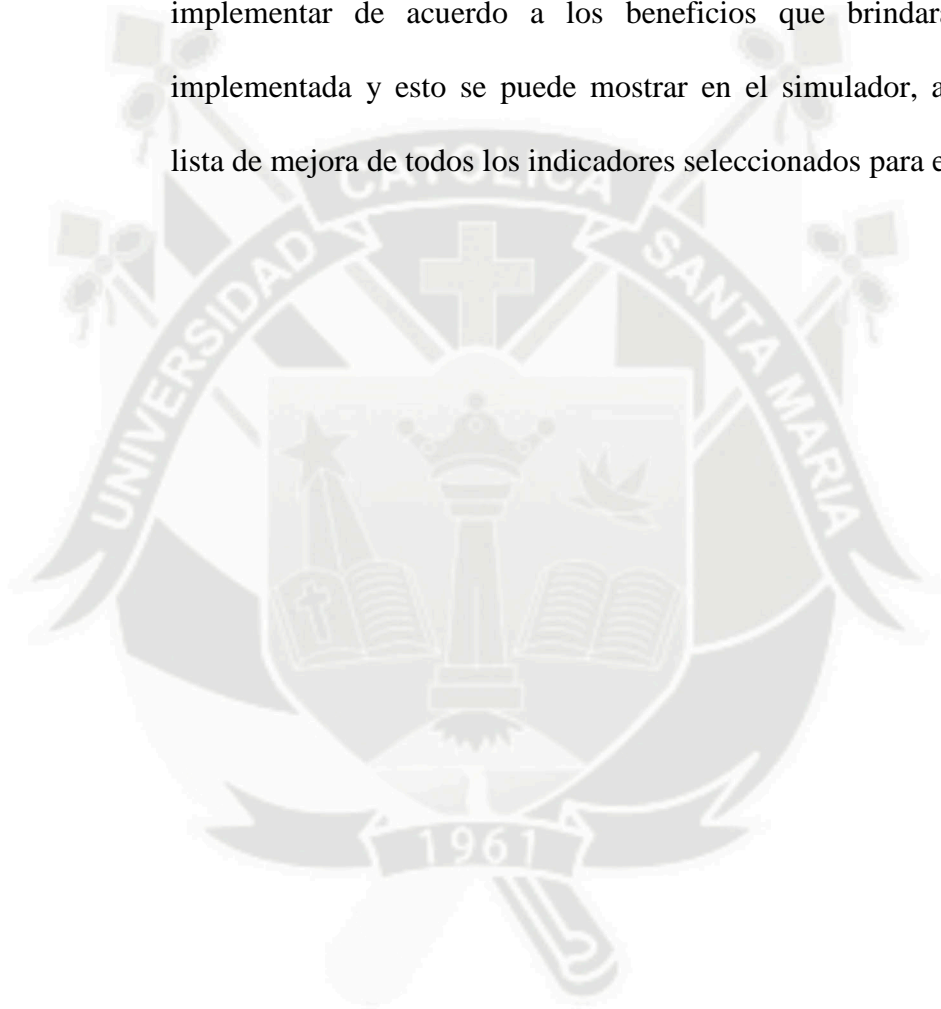
- En este punto se procede a validar el modelo planteado diferentes métodos como determinación del número de réplicas y ensayo y error, para los diferentes indicadores fijados para el modelo, como por ejemplo producción diaria o utilidad mensual.
- Así mismo una vez validado el modelo, se modifican las diferentes variables o la capacidad de los recursos y de esta manera se van generando diferentes optimizaciones propuestas que mejoren los diferentes indicadores establecidos.

5. Evaluación de Resultados.

- En este punto se evalúan los resultados de la simulación de acuerdo a las optimizaciones planteadas y se identifican sus ventajas y desventajas, su costo-beneficio.

6. Determinación de la alternativa adecuada a seguir para optimización del proceso de producción y así el incremento de la rentabilidad mediante la reducción del costo de producción.

- Finalmente se toma la decisión de cuál es la mejor alternativa a implementar de acuerdo a los beneficios que brindará una vez implementada y esto se puede mostrar en el simulador, así como la lista de mejora de todos los indicadores seleccionados para el modelo.



CAPÍTULO 2: Marco Teórico

2.1.MARCO TEÓRICO

2.1.1. Términos referentes a la simulación

➤ Definición de Simulación

- “Técnicas para usar computadoras para imitar, o simular, las operaciones de diversos procesos del mundo real” (*Law y Kelton, 1982*).
- “La Simulación hace referencia a una amplia colección de métodos y aplicaciones que imitan el comportamiento de sistemas reales, usualmente en una computadora con el software adecuado” (*Kelton y Sadowski, 2004*).
- “La Simulación se podría definir como una técnica que imita la operación de un sistema del mundo real a medida que evoluciona con el tiempo” (*Winston, 2005*).
- “Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema” (*Shannon, 1988*).
- “Es la técnica por la cual un sistema del mundo real es representado por un modelo basado en computadora, con el fin de evaluar su comportamiento y experimentar alternativas de Optimización” (*Efrain Murillo, 2012*).

➤ Conceptos básicos de Simulación

- Atributos:

- “Propiedades que caracterizan a las entidades que componen un sistema” (Jaime Barceló, 1996, p. 244).

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

Los atributos son variables asociadas exclusivamente a las entidades, almacenan valores o información acerca de cada entidad. Ejemplo: peso, edad, tamaño, hora de arribo, prioridad, tipo, etc. (p. 49)

- Fábregas, Wadnipar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

Es una característica propia de cada entidad. Cada entidad individual tiene su propio valor de atributo. Esto implica que para determinar este valor, a diferencia de las variables, se debe examinar la entidad que lo porta. Los atributos se definen con un nombre, por ejemplo, *peso, número de orden, color, etc* y deben tener un valor numérico que implique algo para el usuario. (p. 5)

- Entidades:

- “Objetos o elementos de interés que constituyen un sistema” (Jaime Barceló, 1996, p. 244).

- Fábregas, Wadnipar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

Puede ser un objeto o persona que se mueve a través de un sistema y que causa cambios en las variables de respuesta. (p. 5)

Ejemplos de entidades:

- Un cliente en un banco

- Una orden de pedido en un sistema de inventarios
- Una lámina de acero en un proceso de manufactura

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

Son los items que transitan por el sistema para ser procesados o recibir un servicio. Las entidades se pueden caracterizar por el costo, el orden, la prioridad, el estatus, entre otros factores. (p. 20)

Se clasifican en 3 tipos:

- Humanos o animados: pacientes, clientes, etc.
- Inanimados: productos, piezas, documentos, etc.
- Intangibles: correos electrónicos, llamadas, etc.

- Recurso

- Fábregas, Wadnibar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

Es un elemento estacionario que puede ser ocupado por una entidad. Los recursos se emplean cuando se requiere representar actividades claves del sistema que restringen el flujo de entidades. Los recursos tienen una capacidad finita; así mismo cuentan con una serie de estados por los cuales atraviesan a lo largo de la simulación, ejemplo, *ocupado, ocioso, inactivo o dañado*. Un recurso puede ser una persona (cajero), una máquina (torno) o incluso un espacio en áreas de almacenamiento (zona de carga). (p. 5)

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

Son los medios para poder ejecutar las actividades. Proveen el soporte de máquinas, equipos, personal y facilidades en general, para llevar a cabo las actividades. (p.21)

Pueden ser:

- Humanos o animados: operadores, personal de mantenimiento, etc.
- Inanimados: equipos, herramientas, dinero, etc.
- Intangibles: información, tiempo, etc.

- Estado del Sistema:

- “Caracterización de las entidades del sistema y de sus atributos en un instante dado” (Jaime Barceló, 1996, p. 244).
- “Conjunto mínimo de variables necesarias para caracterizar o describir todos aquellos aspectos de interés del sistema en un cierto instante de tiempo” (transparencias Simulación – conceptos básicos)

- Lenguaje de simulación:

- “Lenguaje de programación de computadores específicamente diseñado para construir los programas de computador que representan los modelos de simulación” (Jaime Barceló, 1996, p. 244).

- Modelo:

- “Representación formal de un sistema capaz de proporcionar respuestas validas a las preguntas que un observador se formula sobre el sistema”
(Jaime Barceló, 1996, p. 244)

- Fábregas, Wadnipar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

Es una representación de la realidad que se desarrolla con el propósito de estudiarla. En la mayoría de los análisis no es necesario considerar todos los detalles; de tal manera, el modelo no sólo es un sustituto de la realidad, sino también una simplificación de ella.

Los modelos se pueden clasificar en:

Modelos icónicos

Modelos Analógicos

Modelos simbólicos; estos a su vez incluyen:

- Modelos determinísticos
- Modelos estocásticos o probabilísticos
- Modelos dinámicos
- Modelos estáticos
- Modelos continuos
- Modelos discretos

Los modelos tienen las siguientes características: Confiabilidad, Sencillez, bajo costo de desarrollo y operación, manejabilidad, fácil entendimiento del modelo y de los resultados, la relación costo-beneficio debe ser positiva. (p. 7)

- Modelo matemático:

- “Modelo en el que la representación del sistema se formaliza en terminos matemáticos” (Jaime Barceló, 1996, p. 244).
- “Mapean las relaciones existentes entre las propiedades físicas del sistema que se pretende modelar en las correspondientes estructuras matemáticas. El tipo de formalización matemática que se utilice va a depender de las características intrínsecas de las dinámicas de interés que se quieran representar.” (transparencias Simulación – conceptos básicos)

- Simulación determinística:

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

Se denomina simulación determinística cuando los modelos tienen entradas y salidas constantes. Estos son contruidos de la misma manera que los probabilísticos o estocásticos, excepto que no poseen aleatoriedad. El resultado de una única corrida se simulación representa la medida exacta del desempeño del modelo. (p. 26)

- “Un modelo se denomina Determinista si su nuevo estado puede ser completamente definido a partir del estado previo y de sus entradas. Es decir, ofrece un único conjunto de valores de salida para un conjunto de entradas conocidas.” (transparencias Simulación – conceptos básicos)

- Simulación Estocástica o probabilística:

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

La simulación es estocástica o probabilística si los modelos se basan en una o más variables de entrada, cuya naturaleza es aleatoria. Un modelo estocástico tiene entradas aleatorias, entonces produce salidas aleatorias. En un modelo estocástico muchas réplicas de simulación (muestras) deben ser realizadas; entonces, el resultado es un promedio de las réplicas y provee solo un estimado del desempeño del modelo.

Decir que una variable del modelo es aleatoria no significa que es indefinida o impredecible; por el contrario, el fenómeno que está siendo modelado tiende a variar estadísticamente. Estas variaciones estadísticas del fenómeno se pueden ajustar a predicciones probabilísticas. (p.26)

- “Los Modelos Estocásticos requieren de una o más variables aleatorias para formalizar las dinámicas de interés. En consecuencia, el modelo no genera un único conjunto de salidas cuando es utilizado para realizar un experimento, sino que los resultados son utilizados para estimar el comportamiento real del sistema.” (transparencias Simulación – conceptos básicos)

- Simulación discreta:

- Jaime Barceló, 1996, al respecto, señala que:

Técnica numérica para el estudio del comportamiento de un sistema a través del seguimiento de los cambios de estado del

modelo que lo representa, cuando estos tienen lugar como consecuencia de la ocurrencia de sucesos que ocurren en instantes discretos. (p. 244)

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

Es aquella en la que los eventos se dan en puntos discretos del tiempo, con lo cual se actualizan los valores de las variables de estado del modelo en dichos puntos. Es decir, existe un intervalo de tiempo variable entre la ocurrencia de un evento y la del otro. (p. 27)

- Simulación continua:

- Pedro J. Torres Vega (2010), señala que:

Es aquella en la que las variables de estado del modelo cambian continuamente respecto del tiempo. Es decir, el intervalo de tiempo entre la ocurrencia de un evento y otro se puede considerar infinitesimal. (p. 27)

- “Los Modelos Continuos se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés de forma continua. En general suelen utilizarse ecuaciones diferenciales ordinarias si se considera simplemente la evolución de una propiedad respecto al tiempo, o bien ecuaciones en derivadas parciales si se considera también la evolución respecto a otras variables adicionales.” (transparencias Simulación – conceptos básicos)

- Variables:

- Jaime Barceló, 1996, al respecto, señala que:

Son valores que están sujetos a la estructura de la función; existen variables endógenas y exógenas. Las variables endógenas, son aquellas producidas dentro del sistema que revelan su estado y su condición, es decir, a estas variables se les puede considerar como variables de salida o dependientes, en cambio las variables exógenas se originan fuera del sistema, poniéndose en contacto con agentes externos, es decir, son variables de entrada o independientes.

- Fábregas, Wadnipar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

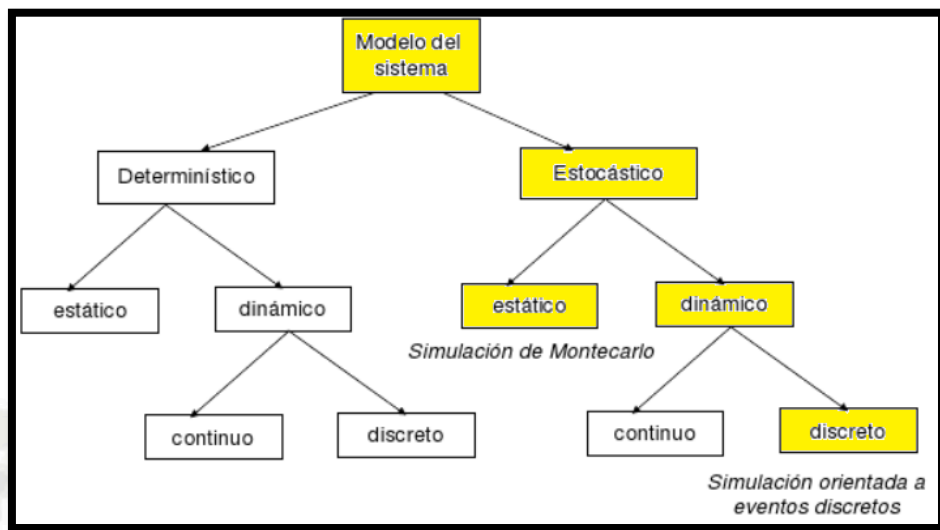
Representan características del sistema: son de carácter global, es decir, su valor es el mismo en cualquier parte del modelo. Las variables pueden ser predeterminadas por el programa o definidas por el usuario; se definen con un nombre – por ejemplo, *pedido* – y con un valor numérico que simbolice un estado del sistema.

Ejemplo: el número de clientes en una cola puede adoptar valores de 0,1,2,3, etc; cada valor representa un estado del sistema. (p. 6)

➤ **Taxonomía de los modelos de simulación**

- Los modelos de un sistema pueden ser Determinísticos o Estocásticos. Dentro de ellos se tienen 2 tipos, los estáticos y los dinámicos, y así mismo los dinámicos se subdividen en modelos continuos y discretos.

Gráfico 2: Modelos del sistema



Fuente: Diapositivas "Introducción a la Simulación" – Ing. Efraín Murillo, 2013

➤ **Simulador Arena :**

- Fábregas, Wadnipar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

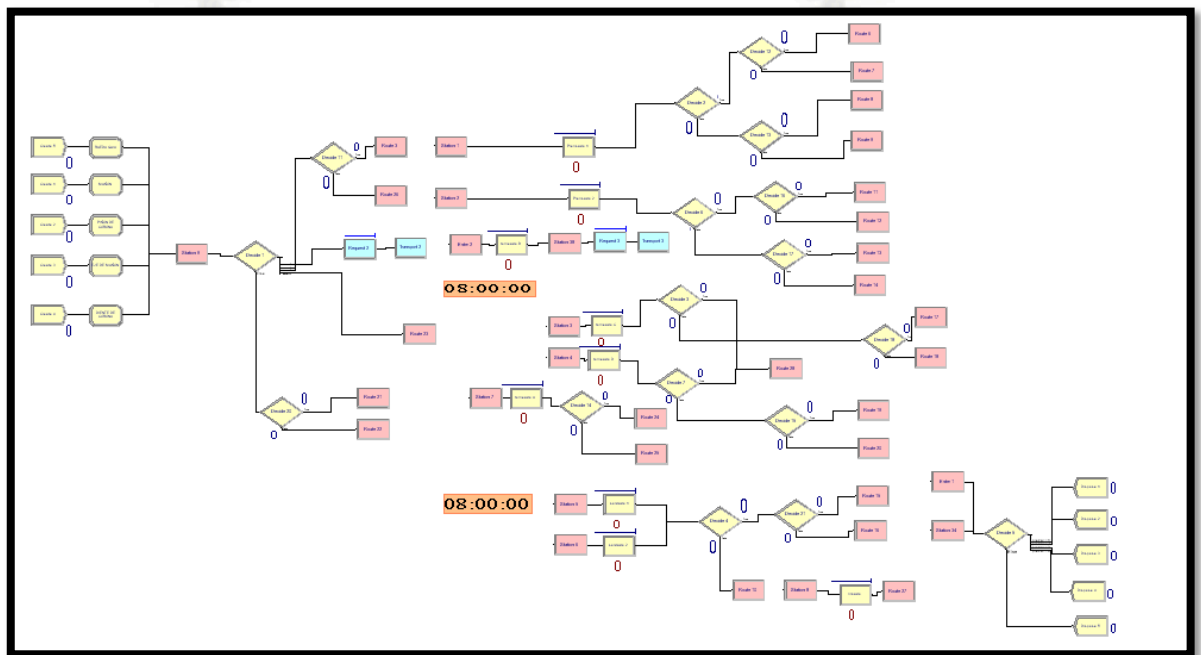
Es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra, en un ambiente fácilmente comprensible, todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo). (p. 3)

- ✓ Es una poderosa herramienta de simulación.
- ✓ Comprende un entorno amigable, que está especialmente diseñado para personas que no poseen conocimientos de programación.
- ✓ Los utilitarios que brinda son de fácil uso.
- ✓ Cuenta con una excelente capacidad gráfica.
- ✓ Ofrece gran versatilidad, pues se puede modelar desde una fábrica automotriz hasta una sala de espera de un hospital.

✓ Es compatible con productos MICROSOFT OFFICE.

- A continuación podremos observar un ejemplo de un sistema modelado en el software ARENA.

Gráfico 3: Diagrama de módulos de un sistema utilizando Arena 14.0



Fuente: Diapositivas curso de Simulación de Sistemas – Ing. Efraín Murillo, 2013

- El software posee diferentes módulos, los cuales sirven de ayuda para poder modelar el sistema y se detallan en el anexo “Manual Operativo del Simulador Arena”.

➤ **Herramienta Opt Quest:**

- OptQuest es una herramienta del software Arena, la cual busca automáticamente soluciones óptimas dentro de los modelos de simulación Arena. Se ingresa el problema de optimización en OptQuest, y la herramienta busca los valores de los controles que maximizan o minimizan una predefinida objetivo. Además,

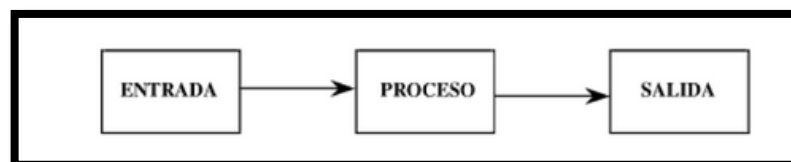
OptQuest está diseñado para encontrar soluciones que satisfagan una amplia variedad de las limitaciones que puede definir.

➤ **Sistema:**

- “Conjunto de elementos que ordenadamente relacionadas entre sí contribuyen a un determinado objeto común” (*Jaime Barceló, 1996, p. 245*).
- “Conjunto de objetos o ideas que están interrelacionados entre sí como una unidad para la consecución de un fin” (*Shannon, 1988*).
- Fábregas, Wadnipar, Paternina y Mancilla (2003), señalan que:

Es un conjunto de elementos que se encuentran en interacción y que buscan alguna meta o metas comunes: para ello operan sobre dato o información, sobre energía, materia u organismos, con el propósito de producir como salida información, energía, materia u organismos. Un sistema es un conjunto de componentes interrelacionados que, en una forma organizada, recibe entradas y las procesa y emite salidas para obtener una meta común. (p. 6-7)

Gráfico 4: Representación de un sistema



Fuente: “Simulación de Sistemas productivos con Arena”, Universidad del Norte, 2003

Clases de sistemas:

- Naturales y artificiales
- Determinísticos y probabilísticos
- Sociales, hombre-máquina y mecánicos
- Abiertos y cerrados
- Permanentes y temporales
- Estables y no estables
- Adaptativos y no adaptativos

➤ **Clasificación de sistemas**

De acuerdo a su naturaleza, un sistema puede ser (Law and Kelton, 1991):

- Determinístico: Si el sistema no contiene ningún elemento aleatorio es un sistema determinístico. En este tipo de sistema, las variables de salidas e internas quedan perfectamente determinadas al especificar las variables de entrada, los parámetros y las variables de estado. Es decir, las relaciones funcionales entre las variables del sistema están perfectamente definidas. El calentador eléctrico estudiado es un sistema determinístico.
- Estocástico: En este caso algún elemento del sistema tiene una conducta aleatoria. Entonces, para entradas conocidas no es posible asegurar los valores de salida. Un ejemplo de sistema estocástico es una máquina tragamonedas en la cual una misma acción (tirar la palanca) genera un resultado incierto (ganar o perder). Cuando un sistema determinístico es alimentado con entradas estocásticas, la respuesta del sistema es también estocástica. Por ejemplo, la temperatura ambiente es una variable estocástica que afecta la respuesta del

calentador eléctrico. En el mundo real, los sistemas siempre tienen elementos estocásticos ya sea por su propia naturaleza o porque son fenómenos no comprendidos actualmente; por ejemplo, a un cavernícola le podía parecer que las eclipses eran fenómenos aleatorios, hoy ellas son predichas. Sin embargo, se puede considerar a un sistema real con un sistema determinístico si su incertidumbre es menor que un valor aceptado.

- Continuo: Se tiene un sistema continuo cuando las relaciones funcionales entre las variables del sistema sólo permiten que el estado evolucione en el tiempo en forma continua (basta que una variable evolucione continuamente). Matemáticamente, el estado cambia en infinitos puntos de tiempo. El recipiente del calentador es un subsistema continuo porque tanto M como T evolucionan en forma continua durante la operación del sistema.
- Discreto: Se tiene un sistema discreto cuando las relaciones funcionales del sistema sólo permiten que el estado varíe en un conjunto finito (contable) de puntos temporales. Las causas instantáneas de los cambios de estados se denominan eventos. El interruptor del calentador es un subsistema discreto porque la intensidad I sólo puede variar en los instantes que se abre o se cierra el interruptor. La apertura y el cierre del interruptor son eventos. Un sistema continuo puede comportarse en forma discreta si las entradas son discretas. Los sistemas reales son combinaciones de continuos y discretos. La forma de tratarlos se adopta de acuerdo a la característica dominante.

➤ **Investigación operativa**

- El *JOURNAL OF THE OPERATIONS RESEARCH SOCIETY* , señala que:

La investigación operativa es la aplicación de los métodos de la ciencia a la resolución de los problemas complejos que aparecen en la dirección de grandes sistemas en los que intervienen hombres, maquinas, materiales y dinero, en la industria, en los negocios, en el gobierno o la defensa. El planteamiento distintivo es la construcción de un modelo del sistema que incorpore medidas de factores tales como el azar y el riesgo, con los que predecir y comparar los resultados de decisiones alternativas, estrategias o controles. El propósito es ayudar a la dirección a determinar científicamente su política y acciones.

- “La investigación operativa es la aplicación del método científico mediante equipos interprofesionales a los problemas de gobierno de sistemas organizados (hombre- máquina) para proporcionar soluciones que sirvan lo mejor posible a la organización considerada como un todo” (*Ackoff y Sasieni*).

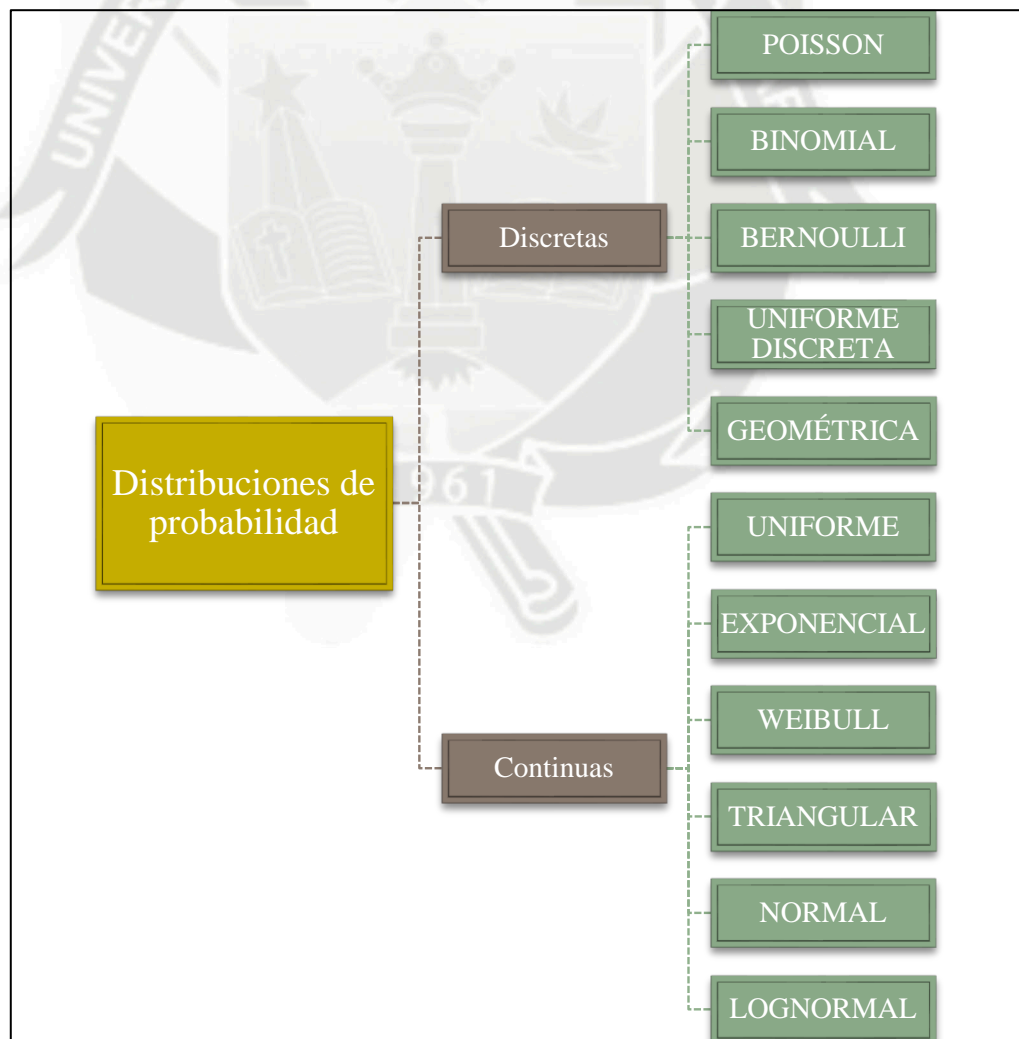
➤ **Distribuciones de probabilidad**

- Cuando las variables aleatorias toman diversos valores, la probabilidad asociada a cada uno de tales valores puede ser organizada como una distribución de

probabilidad, la cual es la distribución de las probabilidades asociadas a cada uno de los valores de la variable aleatoria.

- Las distribuciones de probabilidad pueden representarse a través de una tabla, una gráfica o una fórmula, en cuyo caso tal regla de correspondencia se le denomina función de probabilidad.
- Las distribuciones de probabilidad comunes en simulación son: Bernoulli, Binomial, Poisson, Geométrica, Hipergeométrica, Exponencial, Normal, Triangular, Gamma, Erlang, Lognormal, Weibull.

Gráfico 5: Distribuciones de probabilidad



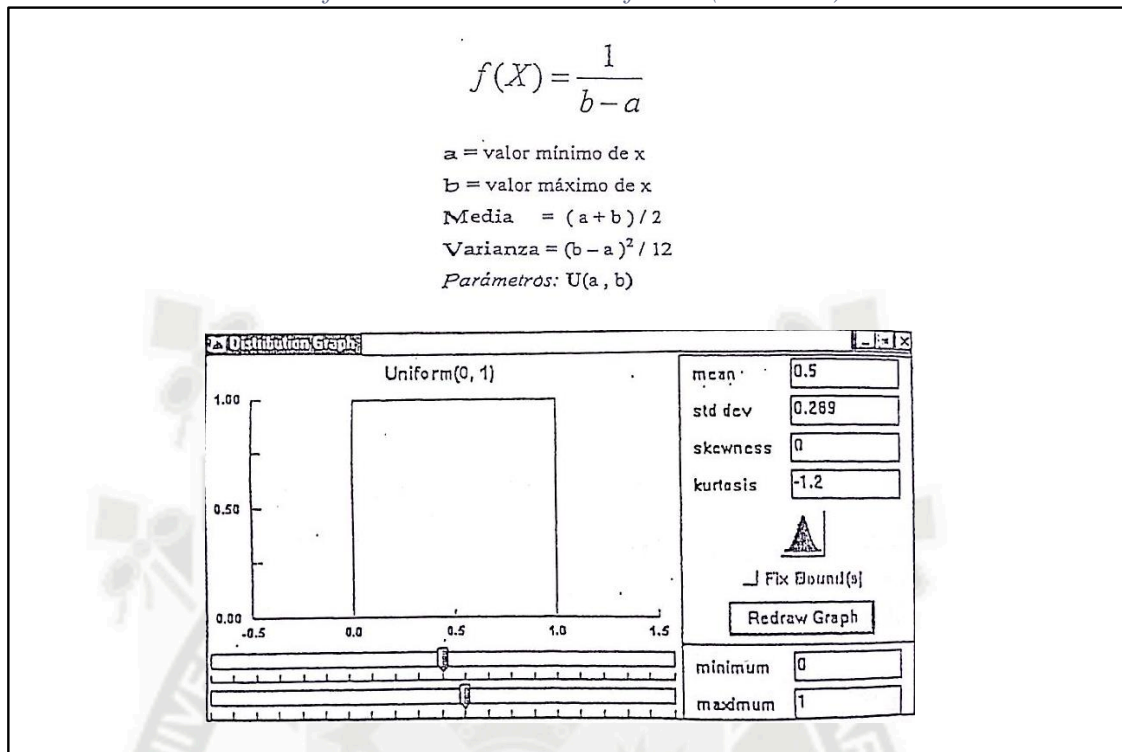
Fuente: Elaboración propia

a) Distribuciones Continuas

a. Uniforme (según Pedro J. Torres Vega - p. 186)

- También llamada rectangular, se utiliza para describir un proceso en el cual es igualmente probable que el resultado caiga entre los valores a y b. se utiliza en las etapas tempranas de los proyectos de simulación porque es una fuente conveniente y bien entendida de la variación aleatoria. En el mundo real, es muy raro encontrar un tiempo de actividad que sea uniformemente distribuido, dado que la mayoría posee una tendencia central o moda.
- Es utilizada para representar el tiempo de duración de una tarea cuando se conoce un mínimo de información de los tiempos actuales de las tareas. Se considera que el tiempo para completar una tarea varía al azar y entre 2 valores. De la misma manera puede ser utilizada para realizar pruebas críticas e variación durante análisis de sensibilidad.

Gráfico 6: Distribución uniforme (continua)

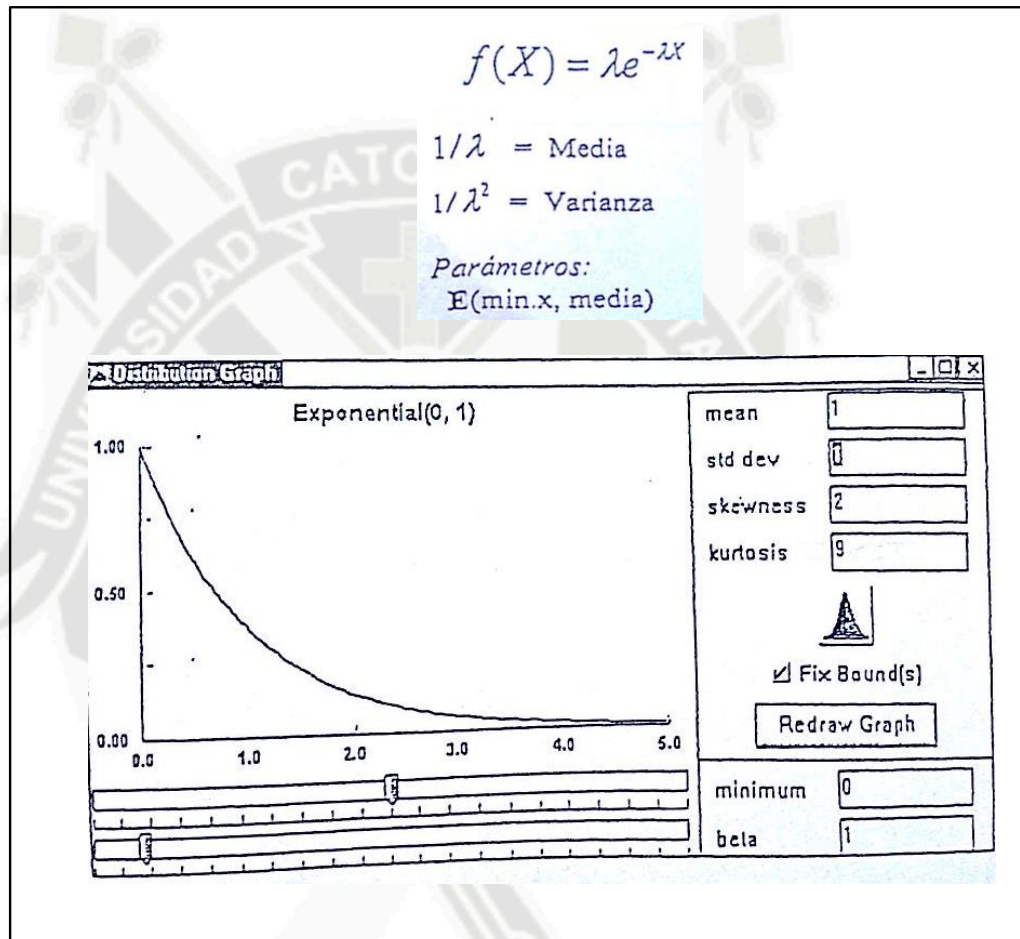


Fuente: Pedro J. Torres Vega, SIMULACION DE SISTEMAS CON EL SOFTWARE ARENA, Fondo Editorial Universidad de Lima, Lima 2010

- b. Exponencial (según Pedro J. Torres Vega - p. 186)
- Es una distribución de probabilidad para varias continuas. Es utilizada frecuentemente en simulación para generar números aleatorios para representas el tiempo entre ocurrencias aleatorias y que sucede independientemente uno de otro, por ejemplo el tiempo entre arribos de clientes a un sistema. También se le llama distribución exponencial negativa, porque esta decrece a medida que X se incrementa rápidamente.
 - Es usada para representar los tiempos entre arribos a una locación en un modelo de cola por lo general tienen esta distribución con una media determinada. Es utilizada para representar los tiempos de servicio de una

operación específica, duración de conversaciones telefónicas, tiempo entre arribos de aviones en un aeropuerto y tiempo entre fallas de un equipo electrónico.

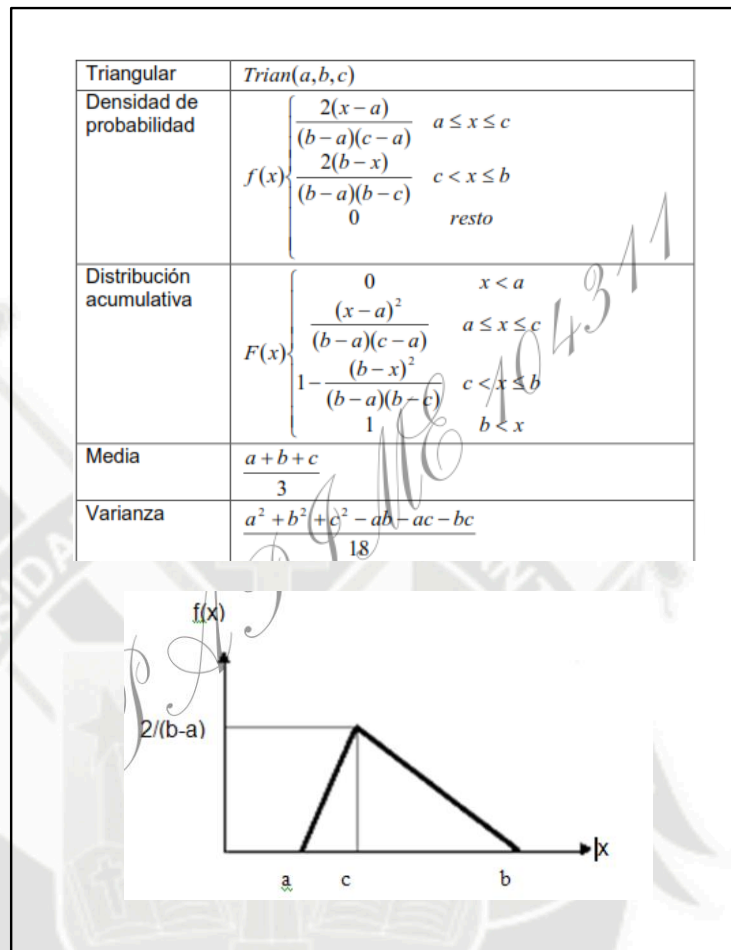
Gráfico 7: Distribución Exponencial



Fuente: Pedro J. Torres Vega, SIMULACION DE SISTEMAS CON EL SOFTWARE ARENA, Fondo Editorial Universidad de Lima, Lima 2010

- c. Triangular (según Idalia Flores de la Mota – p. 26)
- Proporciona una primera aproximación cuando hay poca información disponible. Esta distribución queda definida con el valor mínimo, el máximo y la moda. Se emplea para especificar actividades que tienen un tiempo mínimo, máximo y más probable.

Gráfico 8: Distribución triangular



Fuente: Idalia Flores de la Mota, CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA PARA SIMULACIÓN, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería 2011

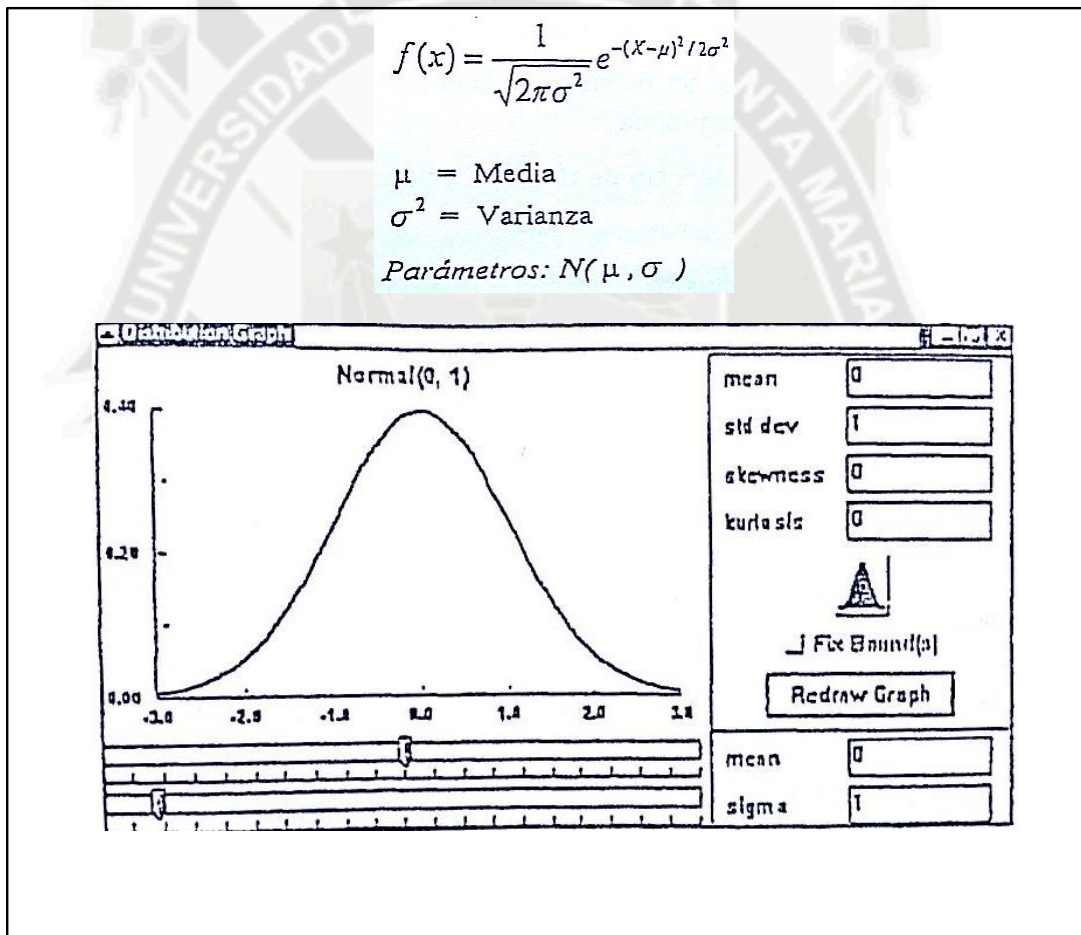
d. Normal (según Pedro J. Torres Vega - p. 187)

- Esta distribución denominada a veces gaussiana o curva de campana, describe fenómenos que varían simétricamente. Es utilizada para definir tiempos de actividad, los cuales en la práctica, casi no son normalmente distribuidos sino que están sesgados a la derecha, esto es debido a que los tiempos de actividad toman valores mayores que el tiempo medio. En la industria es utilizada frecuentemente en operaciones de inspección en

las que se requieren instrumentos calibrados para medir las dimensiones de varios componentes.

- Esta distribución puede ser usada para describir mediciones físicas como alturas, diámetro, longitud, peso, etcétera. De la misma manera ciertos tiempos de actividad y data simétrica y no acotada en ambas direcciones.

Gráfico 9: Distribución Normal



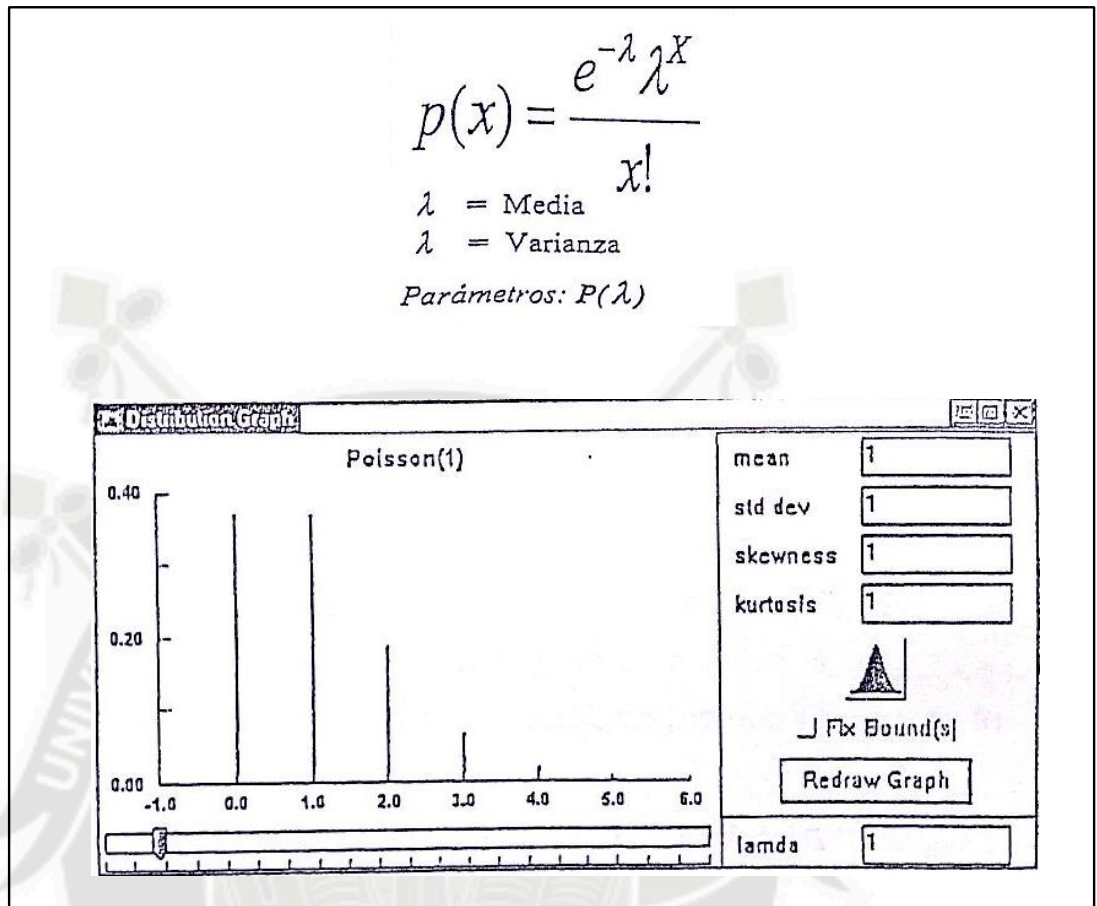
Fuente: Pedro J. Torres Vega, SIMULACION DE SISTEMAS CON EL SOFTWARE ARENA, Fondo Editorial Universidad de Lima, Lima 2010

b) Distribuciones Discretas

a. Poisson (según Pedro J. Torres Vega - p. 188)

- La distribución Poisson representa la ocurrencia poco frecuente de eventos cuya tasa es constante, esto incluye muchos tipos de eventos en tiempo y espacio. Es un importante punto de partida en la teoría de colas. La distribución Poisson se asocia a la distribución exponencial debido a la relación que existe entre ambas. Si el lapso de llegadas tiene una distribución exponencial, entonces el número de llegadas en un intervalo de tiempo específico (digamos 3 horas) tiene una distribución de Poisson.
- Es usada para describir sucesos como llegada de vehículos a una estación de servicio o arribo de aviones a un aeropuerto, llegada de clientes a un restaurante y llegadas de llamadas telefónicas a una central.

Gráfico 10: Distribución Poisson

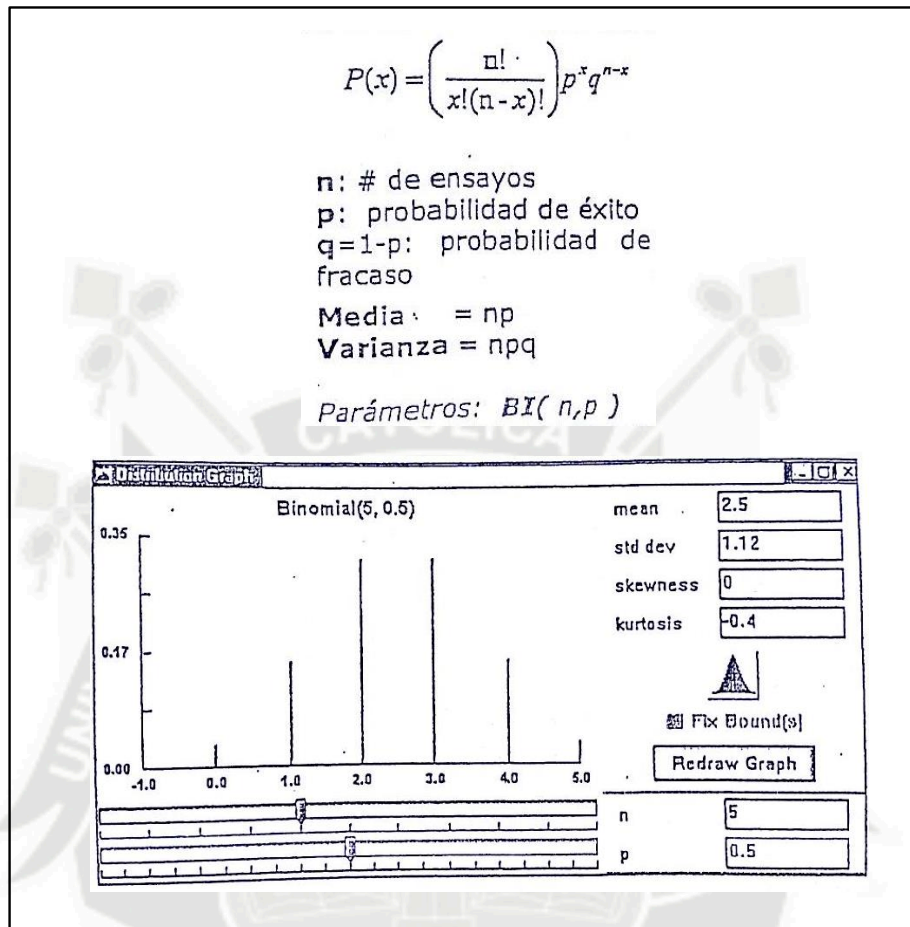


Fuente: Pedro J. Torres Vega, SIMULACION DE SISTEMAS CON EL SOFTWARE ARENA, Fondo Editorial Universidad de Lima, Lima 2010

b. Binomial (según Pedro J. Torres Vega - p. 187)

- La distribución binomial está asociada con las pruebas repetidas de un mismo suceso. Se asume que cada ensayo genera 2 posibles resultados (éxito y fracaso) y es independiente de los otros.
- Puede ser usada para describir el número de productos defectuosos en un lote o el número de personas en un grupo de un tipo particular.

Gráfico 11: Distribución binomial



Fuente: Pedro J. Torres Vega, SIMULACION DE SISTEMAS CON EL SOFTWARE ARENA, Fondo Editorial Universidad de Lima, Lima 2010

c. Uniforme Discreta (de acuerdo a la página web www.sergas.es)

- Describe el comportamiento de una variable discreta que puede tomar n valores distintos con la misma probabilidad cada uno de ellos. Ocurre cuando los valores son enteros consecutivos. Esta distribución asigna igual probabilidad a todos los valores enteros entre el límite inferior y el límite superior que definen el recorrido de la variable. Si la variable puede tomar valores entre a y b, debe ocurrir que b sea mayor que a, y la

variable toma los valores enteros empezando por a , $a+1$, $a+2$, etc. hasta el valor máximo b .

- Por ejemplo, cuando se observa el número obtenido tras el lanzamiento de un dado perfecto, los valores posibles siguen una distribución uniforme discreta en $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, y la probabilidad de cada cara es $1/6$.

Valores:

x : $a, a+1, a+2, \dots, b$, números enteros

Parámetros:

a : mínimo, a entero

b : máximo, b entero con $a < b$

d. Geométrica (de acuerdo a la página web www.sergas.es)

- Supóngase, que se efectúa repetidamente un experimento o prueba, que las repeticiones son independientes y que se está interesado en la ocurrencia o no de un suceso al que se refiere como “éxito”, siendo la probabilidad de este suceso p . La distribución geométrica permite calcular la probabilidad de que tenga que realizarse un número k de repeticiones hasta obtener un éxito por primera vez. Así pues, se diferencia de la distribución binomial en que el número de repeticiones

no está predeterminado, sino que es la variable aleatoria que se mide y, por otra parte, el conjunto de valores posibles de la variable es ilimitado.

- Para ilustrar el empleo de esta distribución, se supone que cierto medicamento opera exitosamente ante la enfermedad para la cual fue concebido en el 80% de los casos a los que se aplica; la variable aleatoria “intentos fallidos en la aplicación del medicamento antes del primer éxito” sigue una distribución geométrica de parámetro $p=0,8$. Otro ejemplo de variable geométrica es el número de hijos hasta el nacimiento de la primera niña.
- La distribución geométrica se utiliza en la distribución de tiempos de espera, de manera que si los ensayos se realizan a intervalos regulares de tiempo, esta variable aleatoria proporciona el tiempo transcurrido hasta el primer éxito.
- Esta distribución presenta la denominada “propiedad de Harkov” o de falta de memoria, que implica que la probabilidad de tener que esperar un tiempo t no depende del tiempo que ya haya transcurrido.

Valores:

$x: 0, 1, 2, \dots$

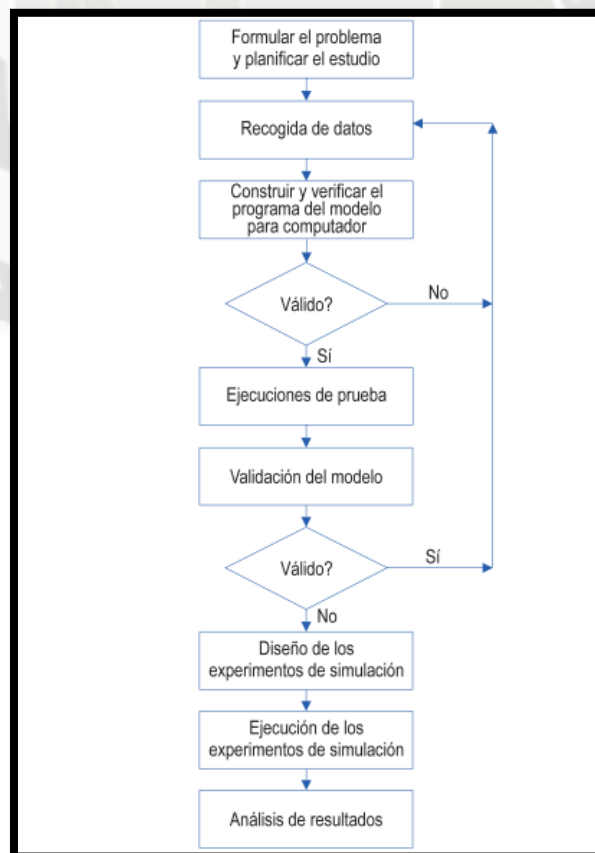
Parámetros:

p : probabilidad de éxito, $0 < p < 1$

➤ **Metodología de un estudio de simulación, según Jaime Barceló, 1996**

1. Definición del problema y planificación del estudio.
2. Recogida de Datos.
3. Formulación del modelo matemático.
4. Construcción y verificación del programa para computador del modelo
5. Ejecuciones de prueba del modelo.
6. Validación del modelo.
7. Diseño de los experimentos de simulación.
8. Ejecución de los experimentos.
9. Análisis de los resultados.

Gráfico 12: Metodología de un estudio de simulación



Fuente: “Simulación de Sistemas Discretos”, JAIME BARCELÓ, 1996

➤ **Etapas de una simulación, según Banks et al., 1996**

En el desarrollo de una simulación se pueden distinguir las siguientes etapas:

1. Formulación del problema: En este paso debe quedar perfectamente establecido el objeto de la simulación. El cliente y el desarrollador deben acordar lo más detalladamente posible los siguientes factores: los resultados que se esperan del simulador, el plan de experimentación, el tiempo disponible, las variables de interés, el tipo de perturbaciones a estudiar, el tratamiento estadístico de los resultados, la complejidad de la interfaz del simulador, etc. Se debe establecer si el simulador será operado por el usuario o si el usuario sólo recibirá los resultados. Finalmente, se debe establecer si el usuario solicita un trabajo de simulación o un trabajo de optimización.
2. Definición del sistema: El sistema a simular debe estar perfectamente definido. El cliente y el desarrollador deben acordar dónde estará la frontera del sistema a estudiar y las interacciones con el medioambiente que serán consideradas.
3. Formulación del modelo: Esta etapa es un arte y será discutida más adelante. La misma comienza con el desarrollo de un modelo simple que captura los aspectos relevantes del sistema real. Los aspectos relevantes del sistema real dependen de la formulación del problema; para un ingeniero de seguridad los aspectos relevantes de un automóvil son diferentes de los aspectos considerados por un ingeniero mecánico para el mismo sistema. Este modelo simple se irá enriqueciendo como resultado de varias iteraciones.

4. Colección de datos: La naturaleza y cantidad de datos necesarios están determinadas por la formulación del problema y del modelo. Los datos pueden ser provistos por registros históricos, experimentos de laboratorios o mediciones realizadas en el sistema real. Los mismos deberán ser procesados adecuadamente para darles el formato exigido por el modelo.
5. Implementación del modelo en la computadora: El modelo es implementado utilizando algún lenguaje de computación. Existen lenguajes específicos de simulación que facilitan esta tarea; también, existen programas que ya cuentan con modelos implementados para casos especiales.
6. Verificación: En esta etapa se comprueba que no se hayan cometido errores durante la implementación del modelo. Para ello, se utilizan las herramientas de debugging provistas por el entorno de programación.
7. Validación: En esta etapa se comprueba la exactitud del modelo desarrollado. Esto se lleva a cabo comparando las predicciones del modelo con: mediciones realizadas en el sistema real, datos históricos o datos de sistemas similares. Como resultado de esta etapa puede surgir la necesidad de modificar el modelo o recolectar datos adicionales.
8. Diseño de experimentos: En esta etapa se decide las características de los experimentos a realizar: el tiempo de arranque, el tiempo de simulación y el número de simulaciones. No se debe incluir aquí la elaboración del conjunto de alternativas a probar para seleccionar la mejor, la elaboración de esta lista y su manejo es tarea de la optimización y no de la simulación. Debe quedar claro

cuando se formula el problema si lo que el cliente desea es un estudio de simulación o de optimización.

9. Experimentación: En esta etapa se realizan las simulaciones de acuerdo el diseño previo. Los resultados obtenidos son debidamente recolectados y procesados.
10. Interpretación: Se analiza la sensibilidad del modelo con respecto a los parámetros que tienen asociados la mayor incertidumbre. Si es necesario, se deberán recolectar datos adicionales para refinar la estimación de los parámetros críticos.
11. Implementación: Conviene acompañar al cliente en la etapa de implementación para evitar el mal manejo del simulador o el mal empleo de los resultados del mismo.
12. Documentación: Incluye la elaboración de la documentación técnica y manuales de uso. La documentación técnica debe contar con una descripción detallada del modelo y de los datos; también, se debe incluir la evolución histórica de las distintas etapas del desarrollo. Esta documentación será de utilidad para el posterior perfeccionamiento del simulador.

2.1.2. Términos referentes al proceso de producción

- **¿ Qué es el Boro?** (tomado del libro “Boron: Global Industry Markets & Outlook”, ROSKILL, 12th Edition)
- El boro es un elemento químico de la tabla periódica que tiene el símbolo B y número atómico 5, su masa es de 10,811. Es un elemento metaloide, semiconductor, trivalente que existe abundantemente en el mineral bórax. Hay dos alótropos del boro; el boro amorfo es un polvo marrón, pero el boro metálico es negro. La forma metálica es dura (9,3 en la escala de Mohs) y es un mal conductor a temperatura ambiente. No se ha encontrado libre en la naturaleza.
 - Se usa para fabricar vidrios de borosilicato (p. ej. Pyrex) y esmaltes, principalmente de utensilios de cocina. También se usa para obtener aceros especiales, de gran resistencia al impacto, y otras aleaciones. Debido a su gran dureza se emplea, en forma de carburo, para fabricar abrasivos. El boro tiene varias aplicaciones importantes en el campo de la energía atómica. Se usa en instrumentos diseñados para detectar y contar las emisiones de neutrones. A causa de su gran capacidad de absorción de neutrones, es empleado como amortiguador de control en reactores nucleares y como un material constituyente de los escudos de neutrones. El ácido bórico diluido se utiliza como antiséptico para los ojos y la nariz. Antiguamente se empleaba el ácido bórico para conservar los alimentos, pero se ha prohibido este uso por sus efectos perjudiciales para la salud. El carburo de boro se usa como abrasivo y agente aleador.

- El boro en su forma circular no se encuentra en la naturaleza. La mayor fuente de boro son los boratos de depósitos evaporíticos, como el bórax y, con menos importancia, la colemanita. El boro también precipita como ácido ortobórico H_3BO_3 alrededor de algunas fuentes y humos volcánicos, dando sasolitas. También se forman menas de boro naturales en el proceso de solidificación de magmas silicatados; estos depósitos son las pegmatitas.
- Los yacimientos más importantes de estas menas son los siguientes: yacimientos del bórax se encuentran en California (EE. UU.), Tincalayu (Argentina) y Kirka (Turquía). De colemanita en Turquía y en el Valle de la Muerte (EE. UU.). Sasolitas en lugares geológicamente activos de la región de Larderello (Italia). Se expende en el comercio como $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$ o pentahidratado, se le conoce como Bórax.
- El boro puro es difícil de preparar; los primeros métodos usados requerían la reducción del óxido con metales como el magnesio o aluminio, pero el producto resultante casi siempre se contaminaba. Puede obtenerse por reducción de halogenuros de boro volátiles con hidrógeno a alta temperatura.

➤ **¿Qué es la Ulexita?** (tomado del libro “Boron: Global Industry Markets & Outlook”, ROSKILL, 12th Edition)

- La ulexita es un mineral de la clase 06 (boratos), según la clasificación de Strunz. Es un borato hidratado de sodio y calcio. Puede ser incoloro o de color blanco, de un brillo sedoso. Su hábito más habitual es redondeado en pequeños nódulos, como masas lenticulares, lo que se suele denominar "en bolas de algodón", a veces con cristales bien formados.
- Requiere para formarse aridez, por lo que suele encontrarse en playas y regiones desérticas. Muy común en lagos salinos desecados, en los que se forma por precipitación. A la intemperie se descompone un poco con el agua, pues pierde sodio.

Figura 1: Ulexita Molida



Fuente: “Boron: Global Industry Markets & Outlook”, ROSKILL, 12th Edition

- **¿Qué es el Ácido bórico?** (tomado del libro “Boron: Global Industry Markets & Outlook”, ROSKILL, 12th Edition)
- El ácido bórico o ácido trioxobórico (III) es un compuesto químico, ligeramente ácido. Es usado como antiséptico, insecticida, retardante de la llama y precursor de otros compuestos químicos. Es usado también como agente tampón para regulación del pH. Es además usado como ingrediente en muchos abonos foliares y conservación de alimentos como el marisco aunque es ilegal su uso en la actualidad.
 - Existe en forma cristalina (polvo de cristales blancos) que se disuelve fácilmente en agua. Su fórmula química es H_3BO_3 . La forma mineral de este compuesto se denomina sassolita. Comúnmente se utiliza para realizar baños pédicos.
 - El ácido libre se encuentra nativo en ciertos distritos volcánicos como la Toscana , la Islas Eolias y Nevada, emisión, mezcladas con vapor de agua, a partir de las fisuras en el suelo, sino que también se encuentra como componente de muchos minerales - bórax, boracita, boronatrocaicite y colemanita . La presencia de ácido bórico y sus sales se ha observado en el agua de mar. También existe en las plantas y, especialmente, en casi todos los frutos.
 - El ácido bórico lo preparó por primera vez por Wilhelm Homberg (1652-1715) del bórax, por la acción de ácidos minerales, y se le dio el nombre de sal sedativum Hombergi ("sal sedante de Homberg"). Sin embargo boratos, incluido

el ácido bórico, se han utilizado desde la época de los griegos para la limpieza, conservación de alimentos, y otras actividades.

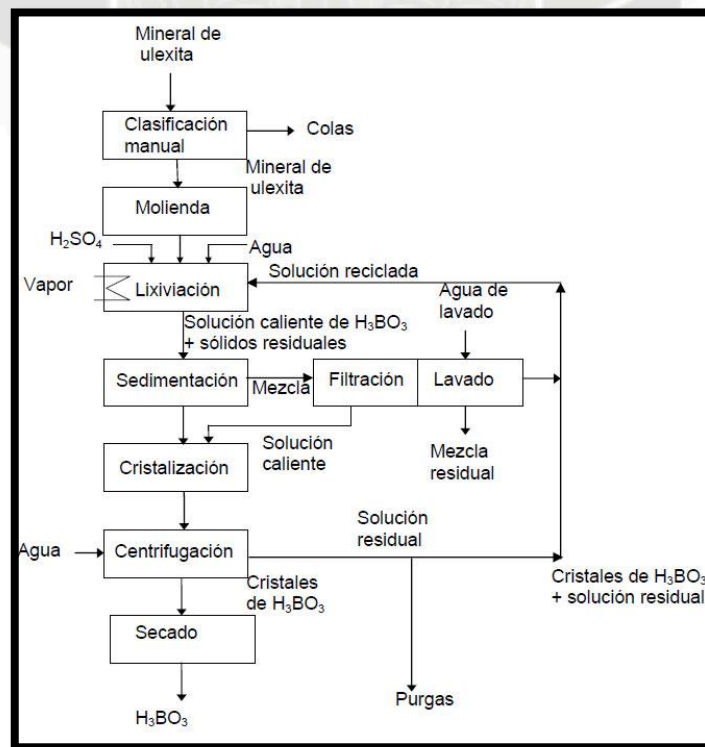
Figura 2: Ácido Bórico granular



Fuente: "Boron: Global Industry Markets & Outlook", ROSKILL, 12th Edition

➤ Proceso de producción del ácido bórico

Gráfico 13: Proceso de producción del H_3BO_3



Fuente: "UN NUEVO MÉTODO PARA MEJORAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO BÓRICO", Universidad Nacional de Salta

➤ **Reacción química**

- Una reacción química, cambio químico o fenómeno químico, es todo proceso termodinámico en el cual una o más sustancias (llamadas reactantes), por efecto de un factor energético, se transforman, cambiando su estructura molecular y sus enlaces, en otras sustancias llamadas productos. Esas sustancias pueden ser elementos o compuestos.

➤ **Filtración**

- Se denomina filtración al proceso unitario de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso, que retiene los sólidos y permite el pasaje del líquido.¹
- Las aplicaciones de los procesos de filtración son muy extensas, encontrándose en muchos ámbitos de la actividad humana, tanto en la vida doméstica como de la industria general, donde son particularmente importantes aquellos procesos industriales que requieren de las técnicas químicas.

➤ **Cristalización**

- La cristalización es un proceso por el cual a partir de un gas, un líquido o una disolución los iones, átomos o moléculas establecen enlaces hasta formar una red cristalina, la unidad básica de un cristal. La cristalización se emplea con bastante frecuencia en Química para purificar una sustancia sólida. Si se prepara una disolución concentrada a altas temperatura y se enfría, se forma una disolución sobre saturada, que es aquella que tiene, momentáneamente, más soluto disuelto que el admisible por la disolución a esa temperatura en

condiciones de equilibrio. Posteriormente, se puede conseguir que la disolución cristalice mediante un enfriamiento controlado. Esencialmente cristaliza el compuesto principal, y las que se enriquecen con las impurezas presentes en la mezcla inicial al no alcanzar su límite de solubilidad.

- Para que se pueda emplear este método de purificación debe haber una variación importante de la solubilidad con la temperatura, lo que no siempre es el caso.

➤ **Centrifugación**

- La centrifugación es un método por el cual se pueden separar sólidos de líquidos de diferente densidad mediante una fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga es provista por una máquina llamada centrifugadora, la cual imprime a la mezcla un movimiento de rotación que origina una fuerza que produce la sedimentación de los sólidos o de las partículas de mayor densidad.
- Los componentes más densos de la mezcla se desplazan fuera del eje de rotación de la centrífuga, mientras que los componentes menos densos de la mezcla se desplazan hacia el eje de rotación. De esta manera los químicos y biólogos pueden aumentar la fuerza de gravedad efectiva en un tubo de ensayo para producir una precipitación del sedimento en la base del tubo de ensayo de manera más rápida y completa.

➤ **Secado**

- El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y con frecuencia, el producto que se extrae de un secador para empaquetado.

➤ **Pentaborato de sodio – Inkabor Meta** (Fuente: INKABOR S.A.C.)

- Nombre Técnico: Pentaborato de Sodio
- Formula Química: $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
- Descripción General del Producto:
 - INKABOR PENTA y META es un producto químico inorgánico granular, blanco, cristalino e inodoro, altamente soluble y de completa disolución en agua.
 - INKABOR PENTA y META constituyen una fuente importante de Óxido de Boro (B_2O_3).
 - INKABOR META, es la mezcla de 95% Pentaborato de Sodio + 5% Ácido Bórico.

➤ **Hidróxido de sodio**

- El hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, también conocido como soda cáustica o sosa cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes. Además, se usa en la industria petrolera en la elaboración de lodos de perforación base agua. En el hogar se usa para desbloquear tuberías de desagües de cocinas y baños, entre otros.

Figura 3: Hidróxido de Sodio en perlas



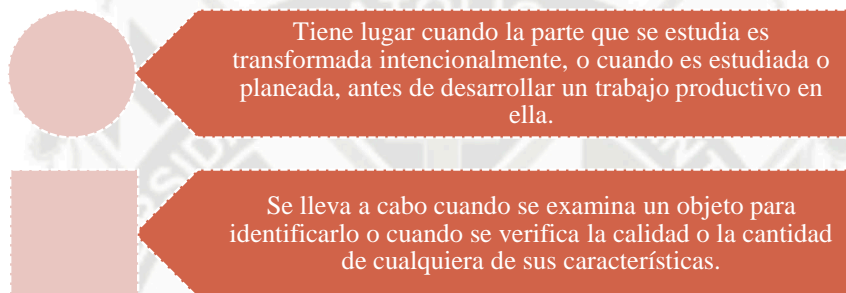
Fuente: Wikipedia

- A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%.

2.1.3. Términos generales

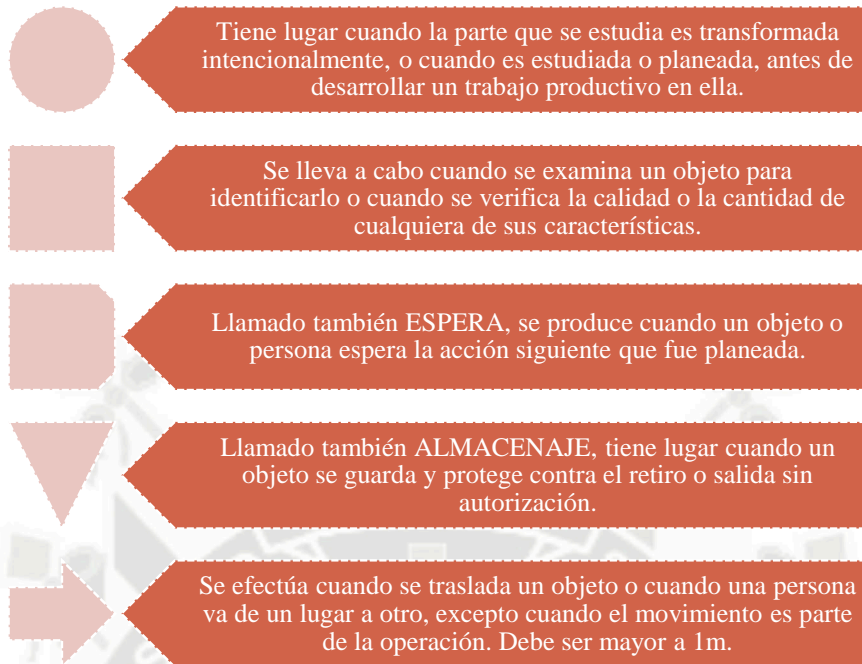
➤ DOP (Diagrama de Operaciones del Proceso)

Es la representación gráfica y simbólica del acto de elaborar un producto o proporcionar un servicio. En este diagrama sólo se registran las principales operaciones e inspecciones y solo se utilizan 2 símbolos; el círculo y el cuadrado.



➤ DAP (Diagrama de Análisis del Proceso)

Es la representación gráfica y simbólica del acto de elaborar un producto o proporcionar un servicio. En este diagrama se registran las principales operaciones, inspecciones, demoras, transporte/manipuleo y almacenamiento del material o servicio. Se utilizan 5 símbolos:



➤ **Layout**

Aquel Diagrama o Plano en el que se muestra claramente la distribución de la Plante productiva y la ubicación de cada uno de sus procesos.

CAPITULO 3: Situación Actual

3.1.Descripción del sistema a estudiar (Sistema Actual):

El sistema que se va a simular se enfoca en la producción de 2 productos de la empresa Inkabor, la cual se dedica a la extracción, transformación y comercialización de productos bóricos.

Los procesos productivos a simular son;

- a) Producción del producto Ácido Bórico CQ
- b) Producción del producto Inkabor Meta

Estos productos son producidos en 2 líneas diferentes, el Ácido Bórico CQ se produce en la línea 2 totalmente y el Inkabor Meta primero en la línea 3 y posteriormente en la línea 2 para el proceso de centrifugado, secado y ensacado.

El proceso de producción del Ácido Bórico CQ de la línea 2 está graficado detalladamente en el Diagrama de Operación del Proceso o DOP (Gráficos 19 y 20) y en el Diagrama de Análisis del Proceso o DAP (Gráficos 14, 15 y 16), así como en el Flujograma (Gráficos 27, 28 y 29) y el Layout de la Línea de Producción 2 se puede observar minuciosamente en los Gráficos 25 y 26, así como el Flowsheet de la misma línea en los Gráficos 34 y 35 que se muestran a continuación en los puntos 3.1.1 al punto 3.1.5. Se vio por conveniente incluir toda esta información en el trabajo de investigación, debido a que esta información fue de suma importancia al momento de simular el sistema para que fuera lo más parecido al sistema real.

A continuación, para resumir, se describirá el proceso de producción del Ácido Bórico de una manera simple para su mejor entendimiento.

Este proceso de transformación del borato llamado Ulexita, el cual es la materia prima para la producción del Ácido Bórico CQ, es un proceso netamente químico, en el cual se deben controlar minuciosamente la temperatura de producción, así como el pH y el tiempo. Este producto antes de ser un producto terminado debe pasar por 6 etapas, las cuales se ejecutan en el siguiente orden:

1. Reacción de Materia prima e insumos: tal como se puede observar en el Gráfico 14 o en el 19, esta parte del proceso de transformación consiste en el ingreso de agua madre a un tanque de reacción, al cual se le añade la materia prima; Ulexita con una ley de 18% de óxido de boro aproximadamente e ingresa ácido sulfúrico con una concentración de 98%. El tanque debe estar en constante agitación y la temperatura y el pH de la pulpa deben ser controlados cuidadosamente.
2. Filtración: esta parte del proceso tiene una parte previa que se llama desarenado, la cual tiene la finalidad de eliminar las arenas de la pulpa que tengan una granulometría mayor a 350 micrones, para evitar que la tela del filtro tambor se rasgue. Una vez realizado ello, la pulpa es enviada al filtro tambor, se le añade floculante y agua de lavado, mientras se va filtrando la pulpa y se va separando el residuo (lodo) de la solución filtrada

(solución rica en Ácido Bórico). Posteriormente, como se ve en los gráficos 14 y 19, los residuos sólidos son enviados a unas pozas, mientras que la solución filtrada es enviada a un filtro de mangas para luego ser almacenada antes de pasar al proceso de cristalización.

3. Cristalización: tal como se muestra en los Gráficos 15, 19 y 20, antes de ingresar a los cristalizadores se debe verificar la concentración de ácido bórico y el pH, para lo cual la mayoría de las veces se debe añadir un poco de ácido sulfúrico para dejar la solución filtrada con un pH adecuado para poder formar los cristales adecuadamente. Una vez que se ha añadido el ácido sulfúrico se debe esperar un periodo de 3 a 4 horas en que los cristalizadores por enfriamiento trabajan y hacen que se formen los cristales. Para ello se debe controlar la temperatura de la solución y debe llegar a descender hasta los 45°C. si la temperatura desciende a menos de 45°C se corre el riesgo de que la calidad del producto se malogre por el hecho de que cristalicen sulfatos y esto haga que las impurezas del producto sean más altas que lo aceptado y solicitado por el mercado. Mientras se van formando los cristales, estos se van sedimentando en el tanque cristizador por la diferencia de densidades y el agua madre se posiciona en lo superior del tanque, es por ello que en esta parte del proceso sale agua

madre del proceso y sólo permanece una pulpa rica en ácido bórico la cual es bombeada al tanque S640 para su centrifugación.

4. Centrifugación: después del proceso de cristalización, la pulpa rica en Ácido Bórico es enviada a un tanque de almacenamiento el cual alimenta la Centrífuga en un flujo determinado. Tal como se muestra en los gráficos 16 y 20, previa a la centrifugación, debe ingresar al proceso agua de lavado (agua virgen) para eliminar cualquier tipo de impurezas que hayan quedado en el producto. Posterior a ello se centrifuga el producto dejando su humedad en un 5% aproximadamente y por ende se elimina gran cantidad de agua madre en esta parte de la transformación.

5. Secado Flash: esta etapa es casi la etapa final de la producción del producto estrella de la empresa. Tal como se puede observar en los gráficos 16 y 20, el producto ingresa al secador flash, al cual también ingresa aire caliente a una temperatura de 140°C para que el producto sea secado a una temperatura de 110 a 120°C y de esta manera se pueda eliminar el 5% de humedad que quedaba en el producto luego del centrifugado, para así obtener un ácido bórico al 100% de pureza. Del proceso de secado se elimina la humedad como vapor y debido a la

granulometría del producto también puede ser eliminado una mínima cantidad de polvo.

6. Ensacado: el producto que sale de la línea 2 como Ácido Bórico CQ sale en una sola presentación, la cual es saco de 25 kg de polipropileno el cual tiene en su interior un liner de polietileno para resguardar mejor el producto. Tal como se ve en los gráficos 16 y 20, el producto es pesado, ensacado en la presentación mencionada y cosido, para posteriormente ser apilado en paletas de 60 sacos (1.5 TM) cada una, para ser enviadas al almacén de producto terminado haciendo uso de un montacargas.

Tal como se indicó en qué gráficos se encuentra detallado el proceso de producción del Ácido Bórico CQ de la línea 2, se hará lo mismo con el otro producto involucrado en el trabajo de investigación; Inkabor Meta. Los gráficos 21, 22 y 23 muestran el Diagrama de Operación del Proceso o DOP y el Diagrama de Análisis del Proceso o DAP está en los Gráficos 17 y 18. Así mismo se incluye un Flujograma (Gráficos 30, 31, 32 y 33) y el Layout de la Línea de Producción 3 se puede observar minuciosamente en los Gráficos 24 y 26, así como el Flowsheet de la misma línea en el Gráfico 36, que se muestran a continuación en los puntos 3.1.1 al punto 3.1.5.

A continuación, para resumir, se describirá el proceso de producción del Inkabor Meta de una manera simple para su mejor entendimiento.

Este proceso de transformación es un proceso netamente químico tal como el del Ácido Bórico, pero en este caso las materias primas son Ácido Bórico e Hidróxido de Sodio en escamas y el medio en el que se trabaja es un medio acuoso y es a base de Agua madre de Pentaborato de Sodio, en el cual se deben controlar minuciosamente la temperatura de producción, así como el pH y el tiempo. Este producto antes de ser un producto terminado debe pasar por 5 procesos, los cuales se ejecutan en el siguiente orden:

1. Preparación y mezcla del batch: tal como se puede observar en el Gráfico 17 o en el 21, esta parte del proceso consiste en el ingreso de agua madre de Pentaborato de Sodio, la cual tiene un contenido de Hidróxido de Sodio y de Oxido de Boro, los cuales sirven como base para la preparación del Inkabor Meta. El agua madre debe llegar a una concentración determinada y a una temperatura de 52°C, por lo que debe ingresar agua industrial a las chaquetas del tanque de preparación a 85°C. una vez que la temperatura del agua madre llegue a 52°C y se verifique que esta temperatura se mantenga, se debe añadir 5.5 Tm de Ácido bórico TQ granular mientras el tanque está en constante agitación. Después de que el ácido bórico se ha disuelto se añade la soda caustica en escamas y se debe verificar la concentración de la solución y si es que se necesita

agregar un poco de ácido bórico para llegar al ratio necesario se puede realizar siempre que la temperatura se mantenga en 52°C y en constante agitación.

2. Cristalización: como se ve en los Gráficos 18 y 22, se bombea la pulpa que tiene el ratio adecuado de B_2O_3/Na_2O a los tanques cristalizadores. En ellos se debe verificar que la temperatura de la solución baje a 18°C mediante la constante circulación de agua fría por las chaquetas de los tanques cristalizadores. Mientras la temperatura de la solución desciende (proceso de enfriamiento dura aproximadamente 4 horas), se van formando cristales, los cuales por diferencia de densidades se sedimentan al fondo del tanque y el agua madre queda como agua sobrenadante, la cual sale del proceso por rebose y para ello se debe detener la agitación y dejar que decante por 25 minutos aproximadamente. Luego de haber retirado la mayor cantidad de agua madre se reinicia la agitación del tanque y se añaden 300 kg de Ácido Bórico TQ para ajustar el ratio del Inkabor Meta y posteriormente bombear esta pulpa a la línea 2 al tanque S640 para su posterior centrifugación.

3. Centrifugación: tal como se muestra en los gráficos 18, 22 y 23, una vez que el producto ya se encuentra en la línea de Producción 2, este pasa a la centrifuga en la cual también

ingresa agua de lavado para eliminar cualquier tipo de impurezas restantes y dejar su contenido de humedad en 5% aproximadamente. Así mismo en esta parte del proceso se extrae agua madre.

4. Secado Flash: esta etapa es casi la etapa final de la producción del Inkabor Meta. Tal como se puede observar en los gráficos 18 y 23, el producto ingresa al secador flash de la línea 2, al cual también ingresa aire caliente a una temperatura de 140°C para que el producto sea secado a una temperatura de 110 a 120°C y de esta manera se pueda eliminar el 5% de humedad que quedaba en el producto luego del centrifugado, para así obtener un Inkabor Meta al 100% de pureza. Del proceso de secado se elimina la humedad como vapor y debido a la granulometría del producto también puede ser eliminado una mínima cantidad de polvo.

5. Ensacado: el producto que sale de la línea 2 como Inkabor Meta, sale en 2 presentaciones, las cuales pueden ser sacos de 25 kg de polipropileno, el cual tiene en su interior un liner de polietileno para resguardar mejor el producto. Tal como se ve en los gráficos 18 y 23, el producto es pesado, ensacado en la presentación mencionada y cosido, para posteriormente ser apilado en paletas de 60 sacos (1.5 TM) cada una, para ser enviadas al almacén de producto terminado haciendo uso de un

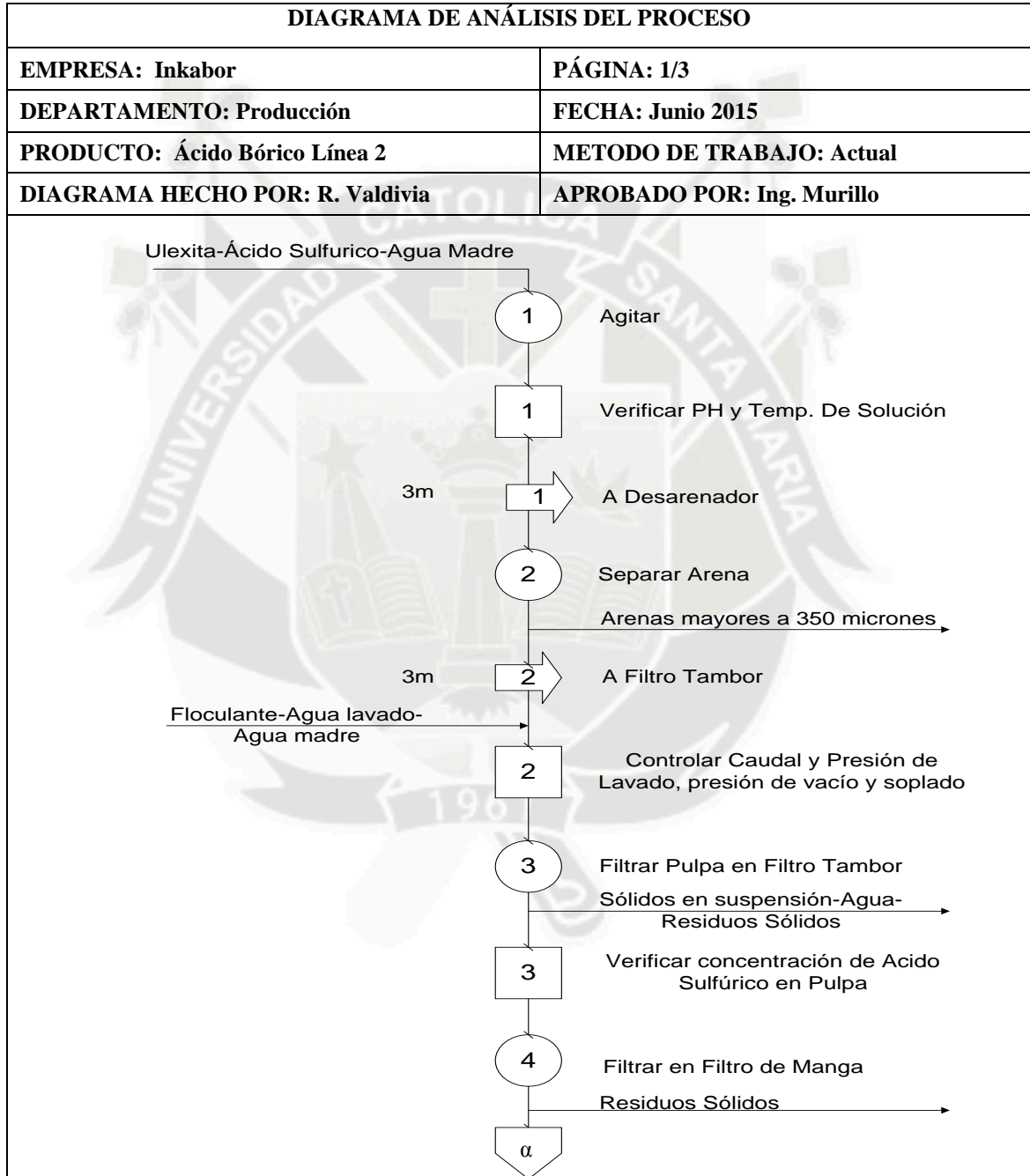
montacargas. Así mismo se puede optar por la segunda opción de ensacado, la cual hemos utilizado para la Simulación en el Sistema Arena, la cual es en Big Bags de 1000 kg de polipropileno con un liner interno de polietileno, lo cuales también son transportados uno por uno al almacén de Producto terminado por un montacargas.



3.1.1. DAP

3.1.1.1 DAP Ácido Bórico

Gráfico 14: DAP de Ácido Bórico – Parte 1



Fuente: Propia

Gráfico 15: DAP de Ácido Bórico – Parte 2

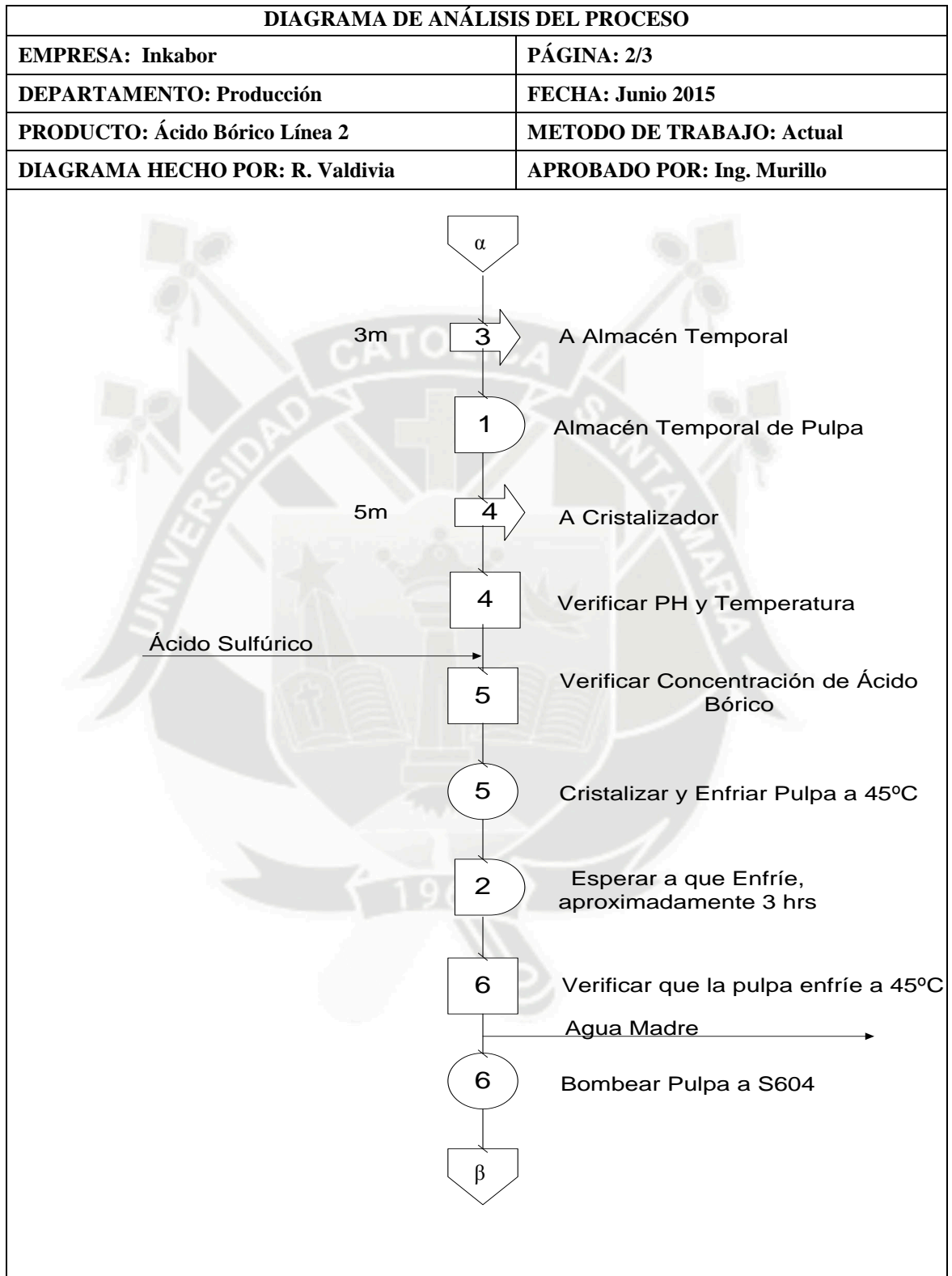
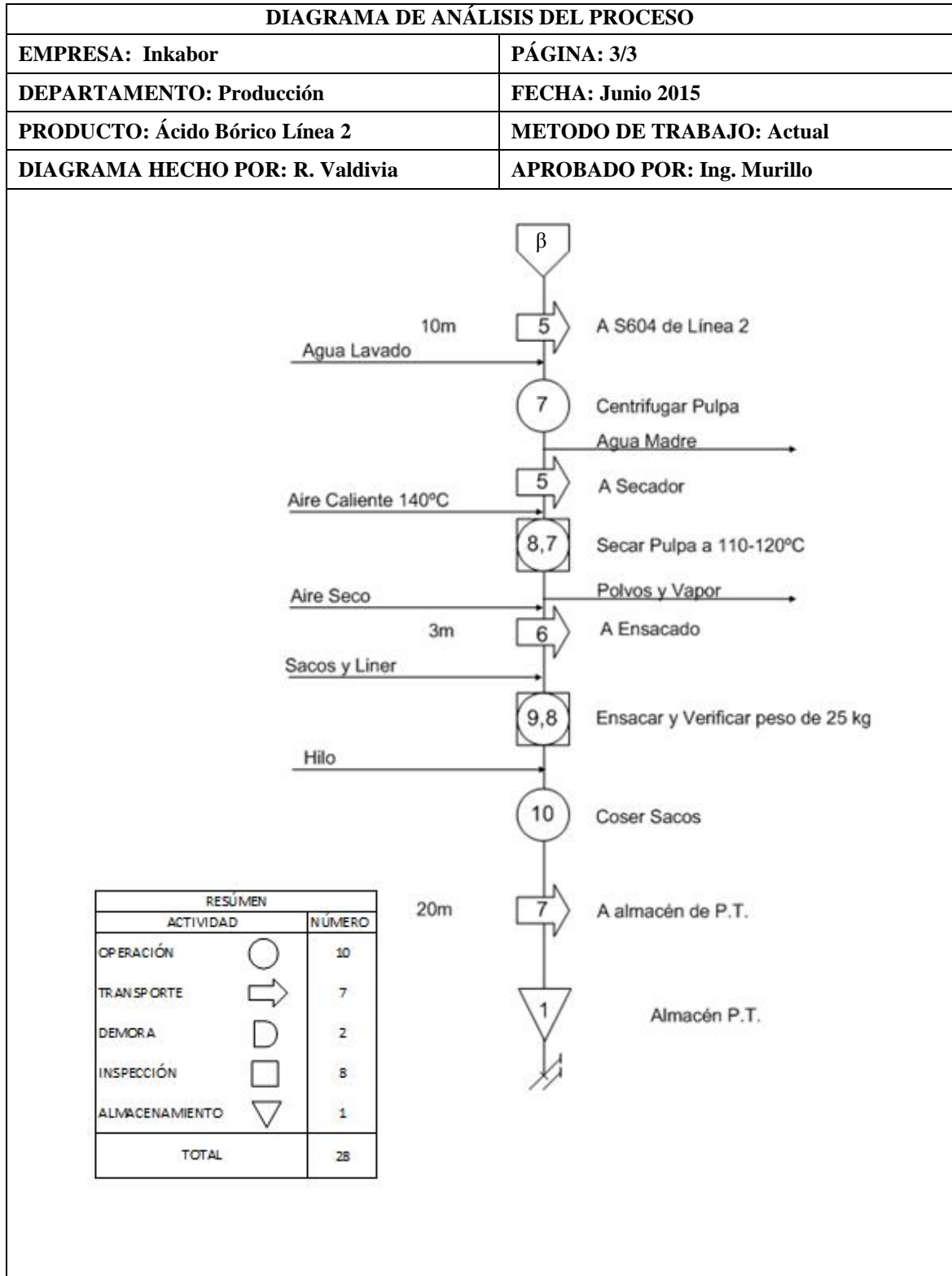


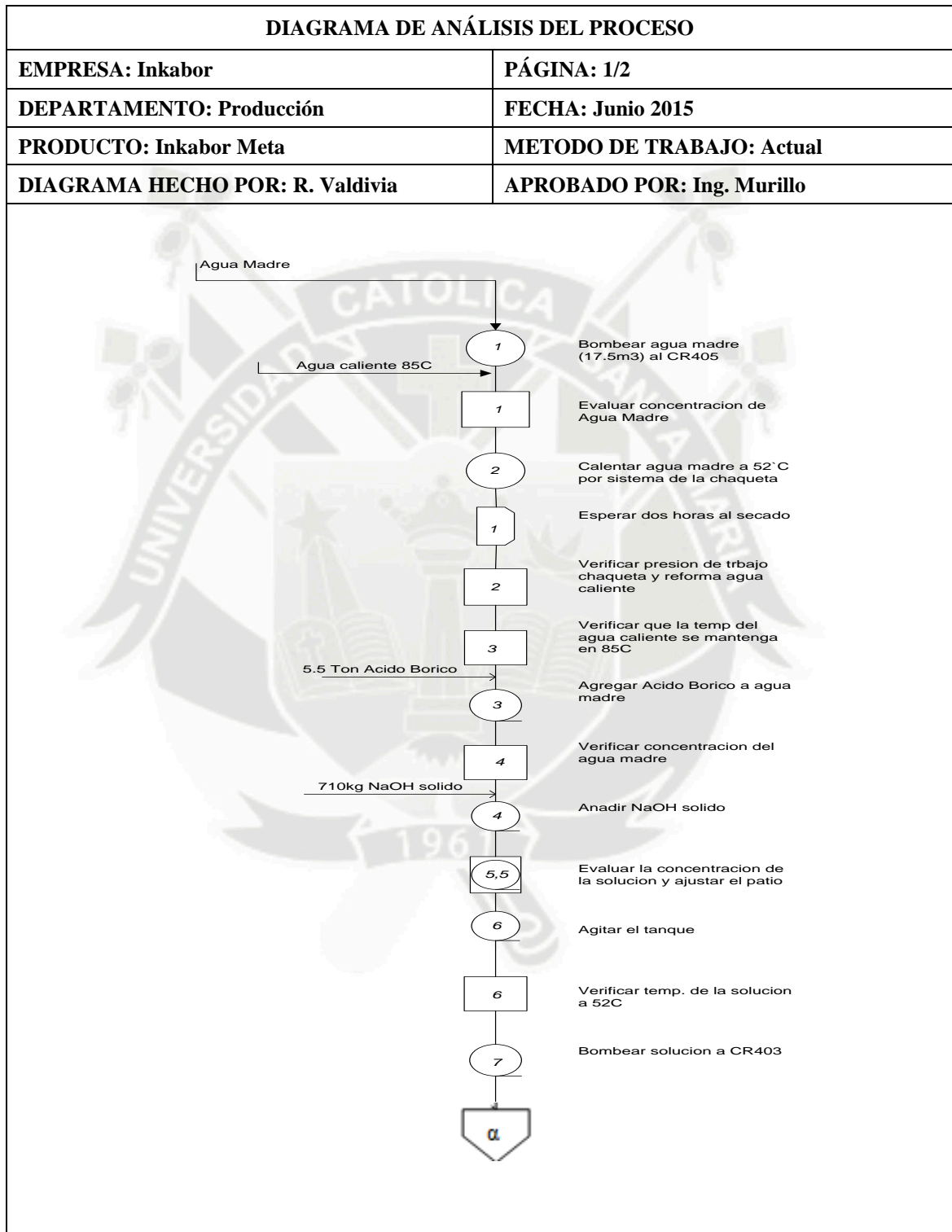
Gráfico 16: DAP de Ácido Bórico – Parte 3



Fuente: Propia

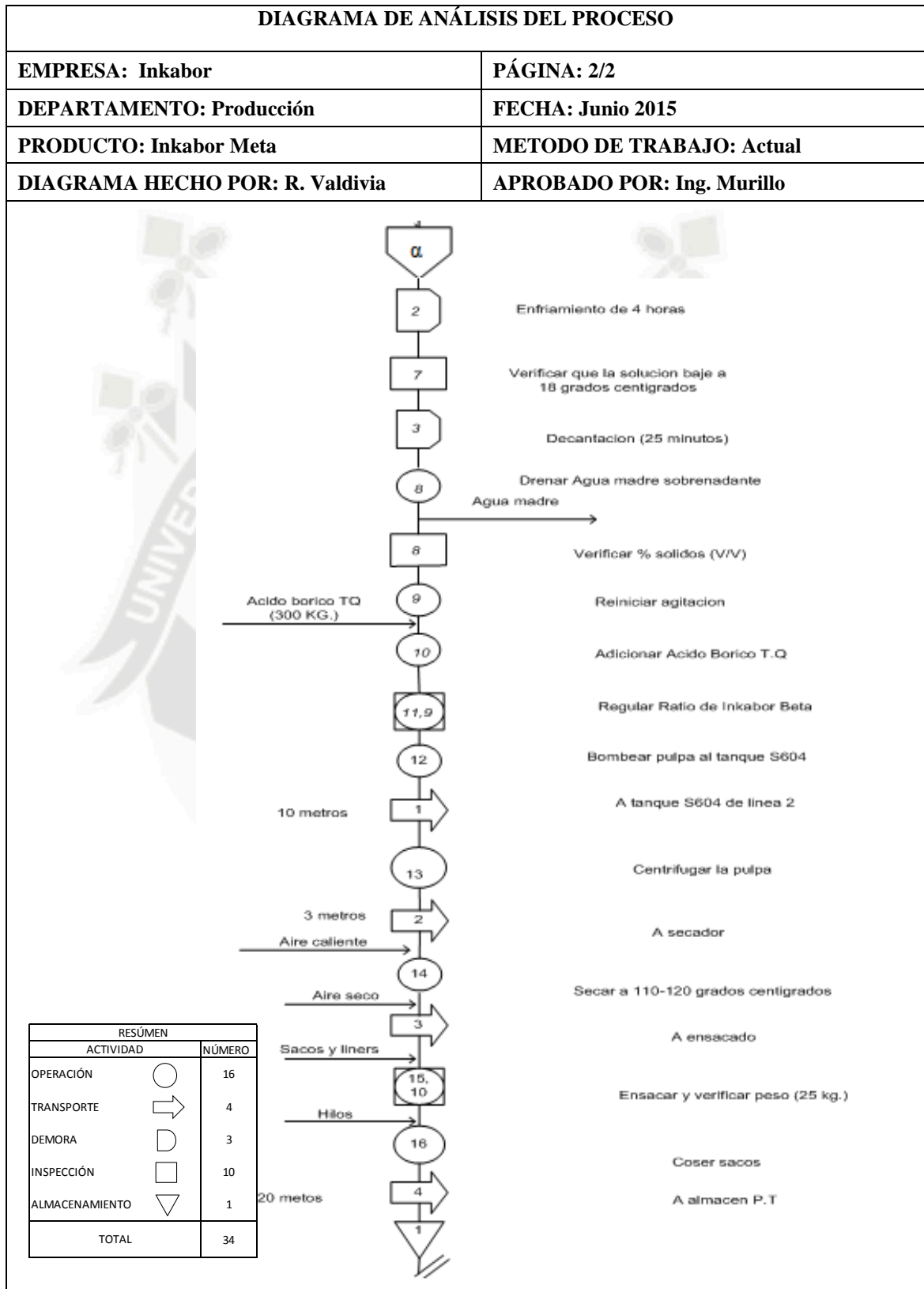
3.1.1.2.DAP Inkabor Meta

Gráfico 17: DAP de Inkabor Meta – Parte 1



Fuente: Propia

Gráfico 18: DAP de Inkabor Meta – Parte 2

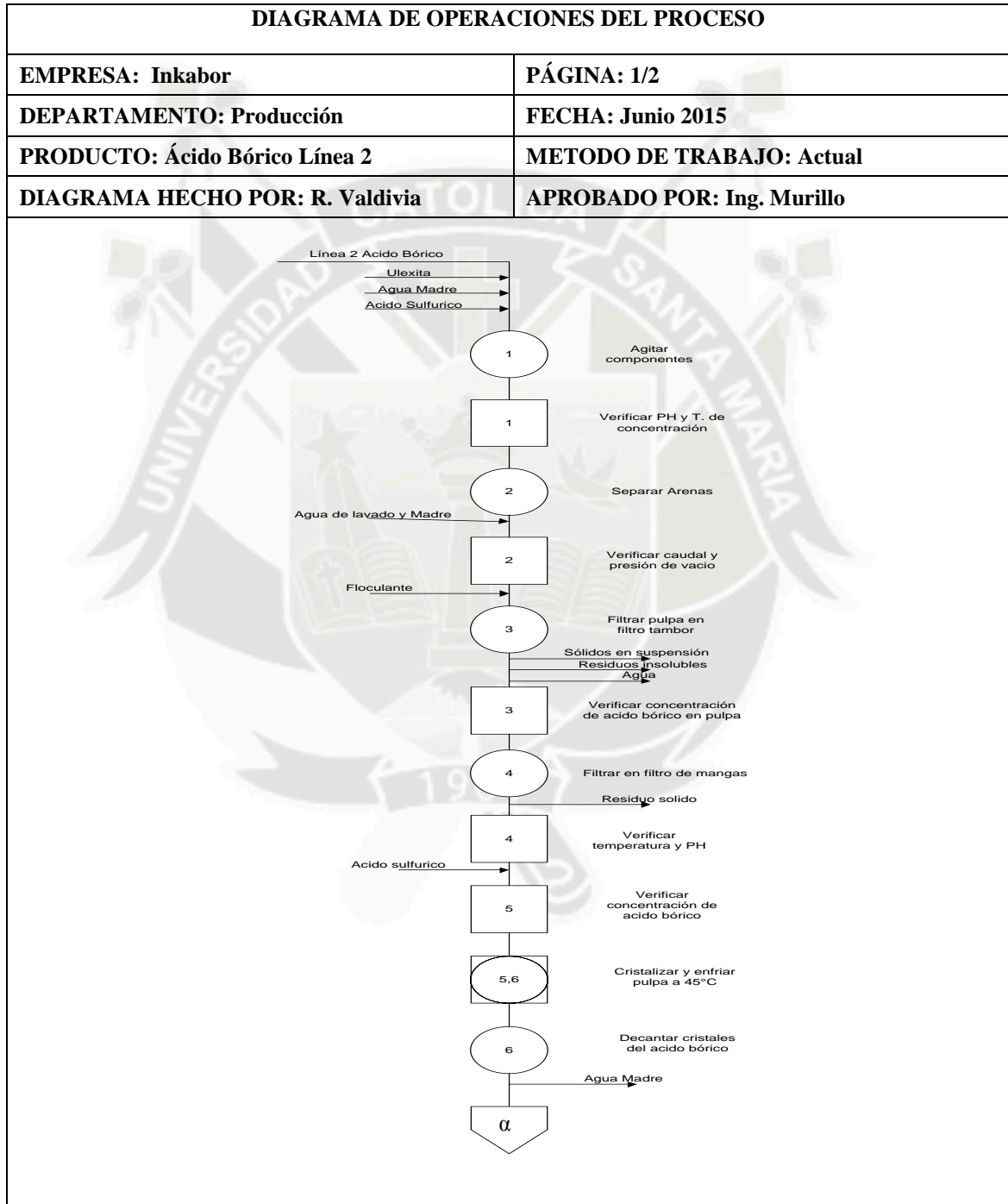


Fuente: Propia

3.1.2. DOP

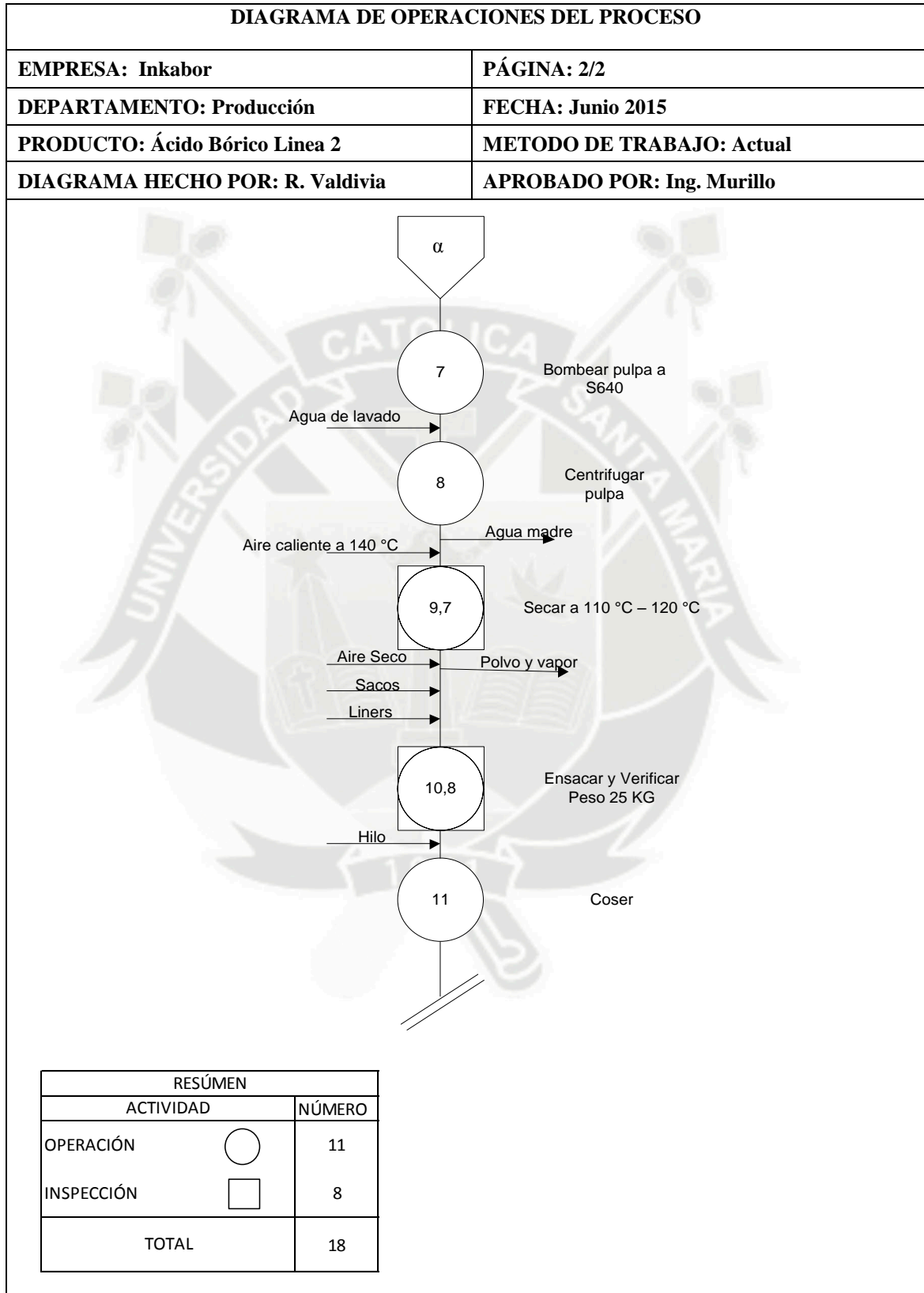
3.1.2.1.DOP Ácido Bórico

Gráfico 19: DOP de Ácido Bórico – Parte 1



Fuente: Propia

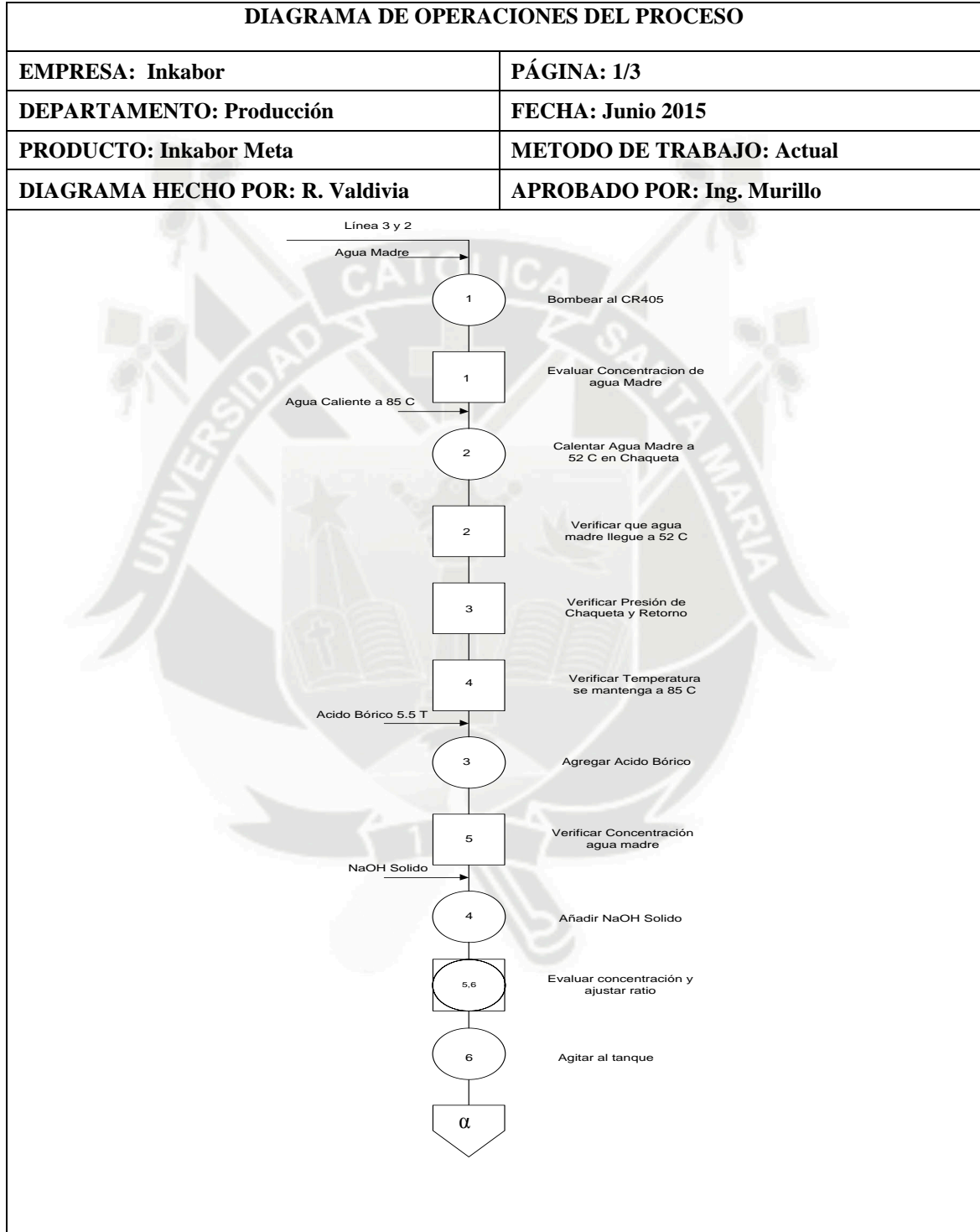
Gráfico 20: DOP de Ácido Bórico – Parte 2



Fuente: Propia

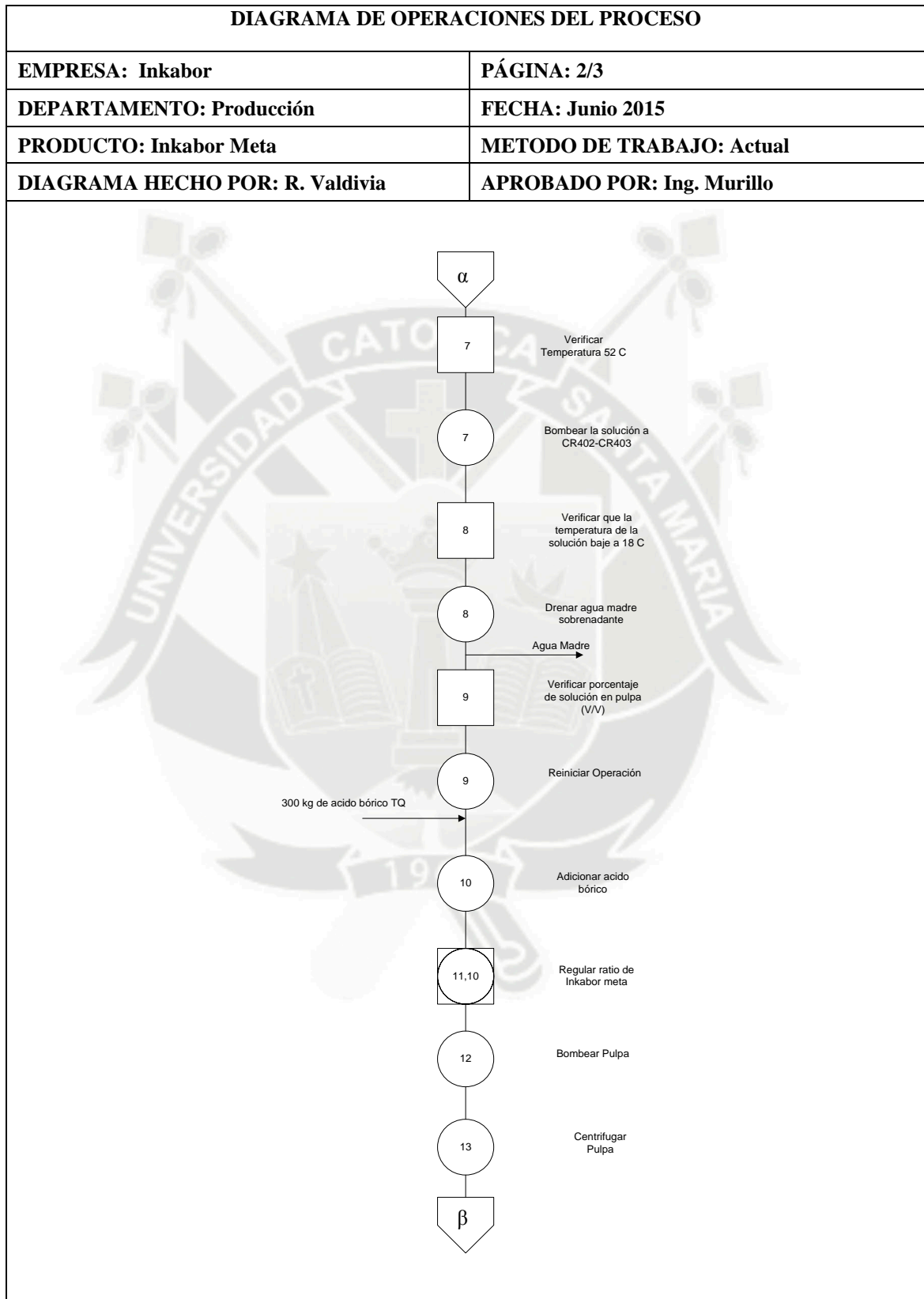
3.1.2.2.DOP Inkabor Meta

Gráfico 21: DOP de Inkabor Meta – Parte 1



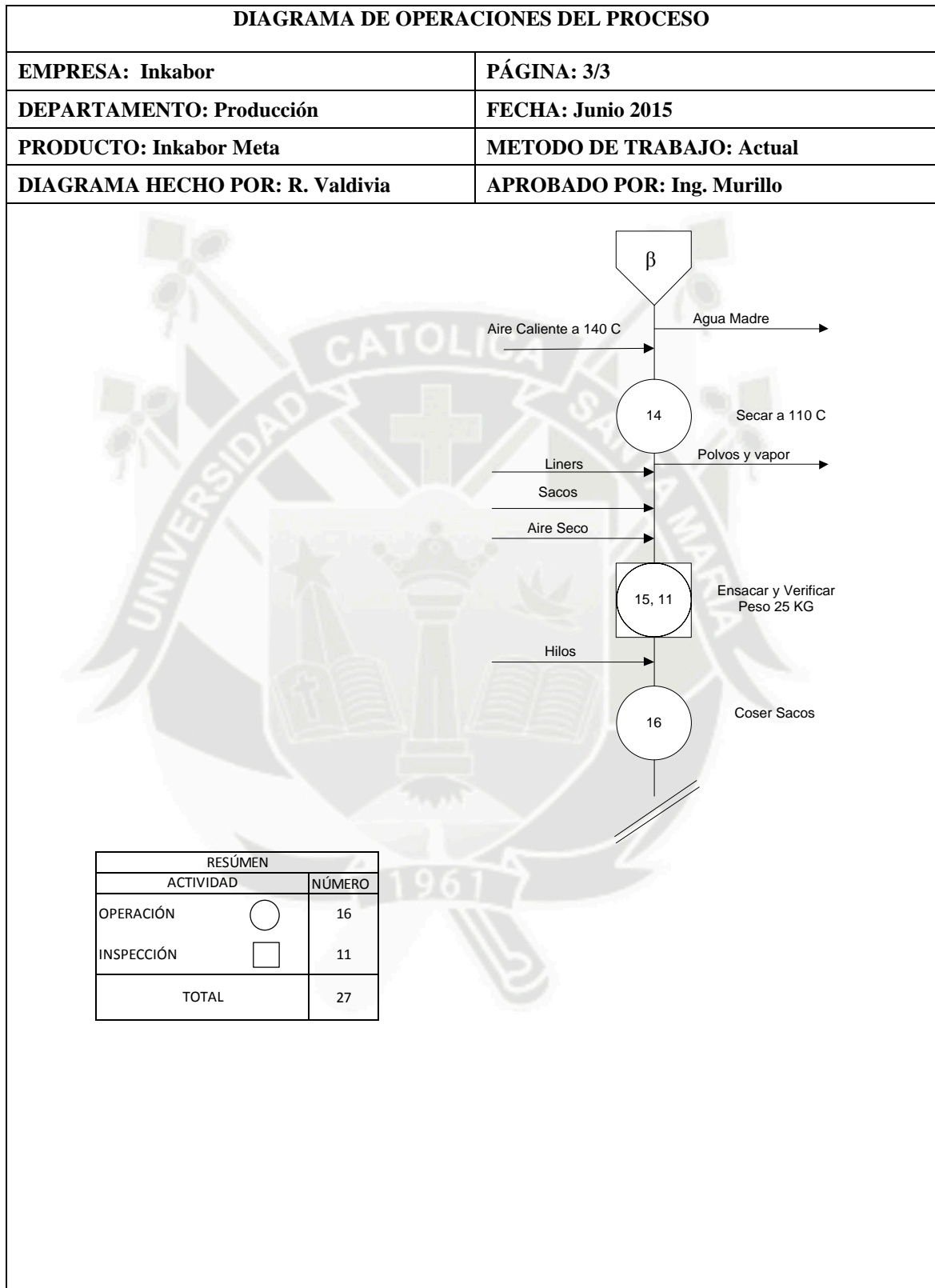
Fuente: Propia

Gráfico 22: DOP de Inkabor Meta – Parte 2



Fuente: Propia

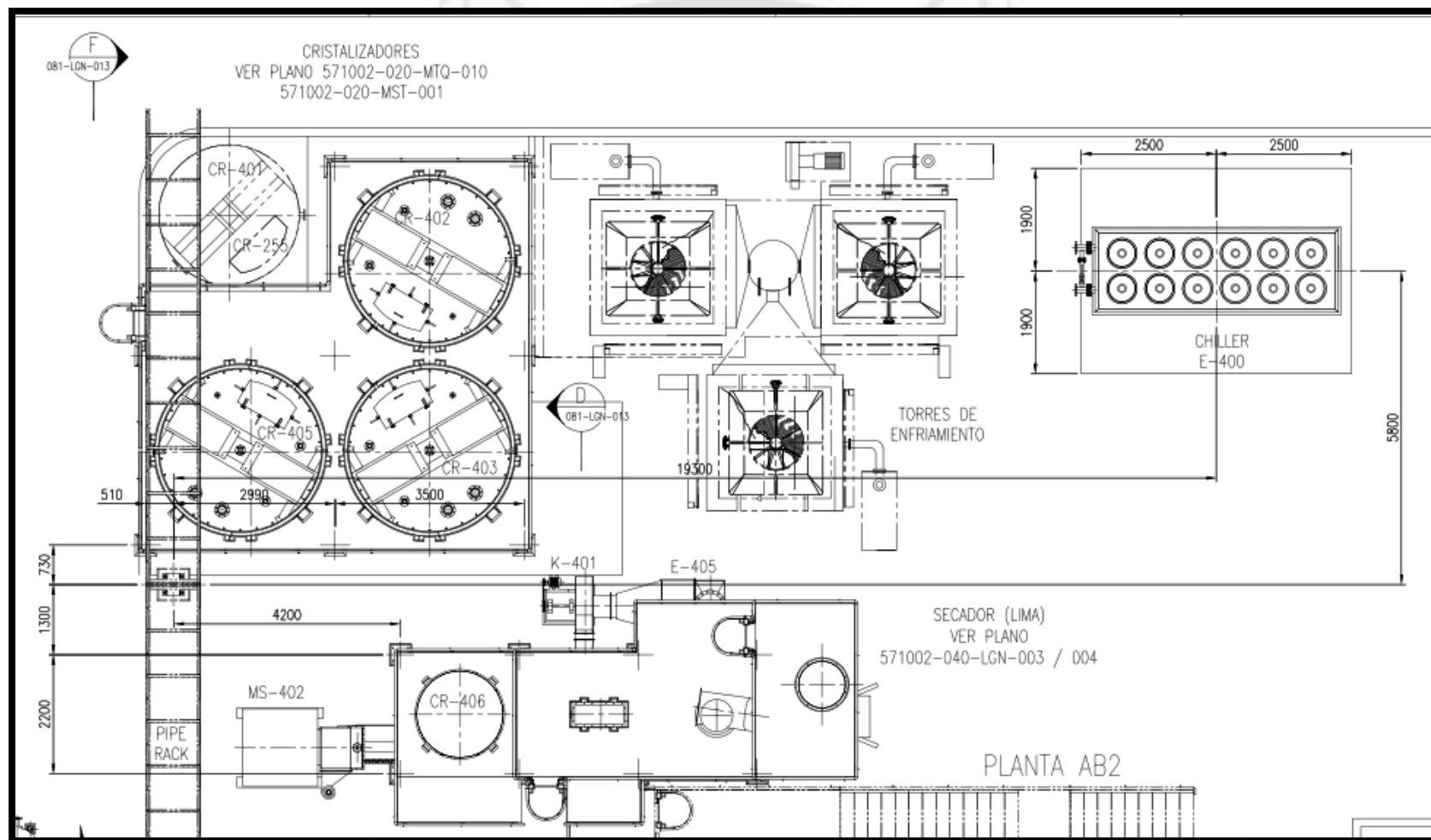
Gráfico 23: DOP de Inkabor Meta – Parte 3



Fuente: Propia

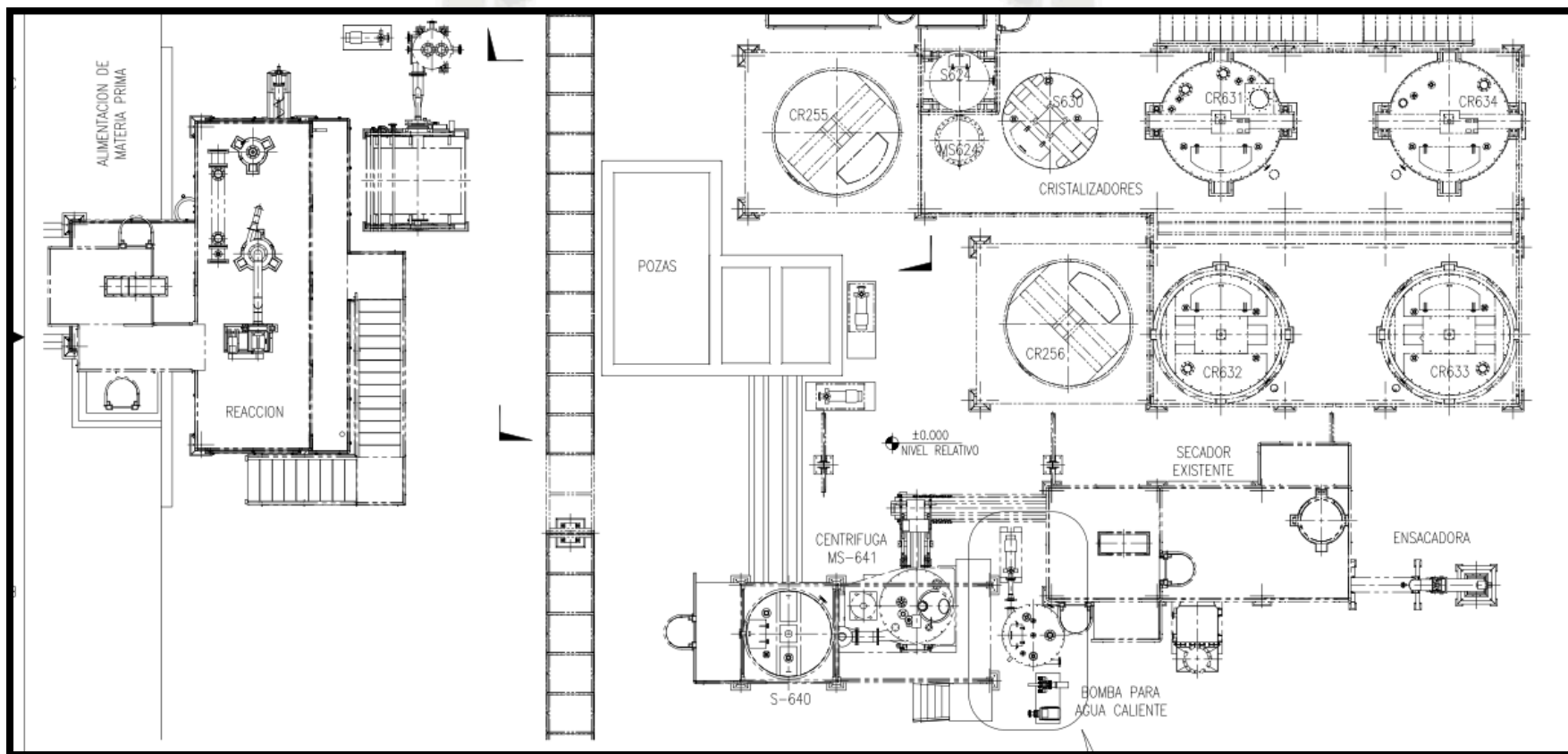
3.1.3. Layouts del proceso

Gráfico 24: Layout de Línea de Producción 3



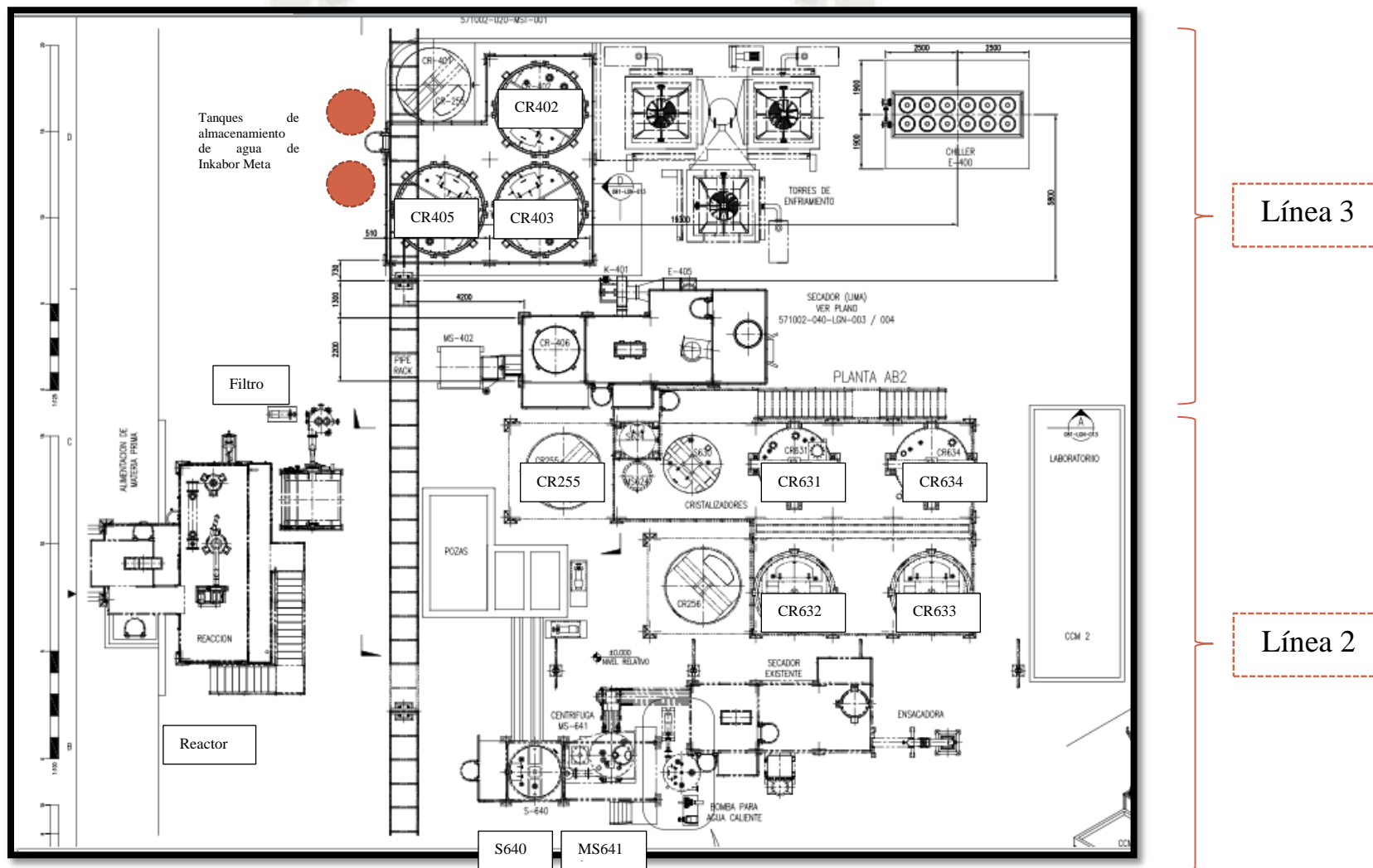
Fuente: Inkabor

Gráfico 25: Layout de Línea de Producción 2



Fuente: Inkabor

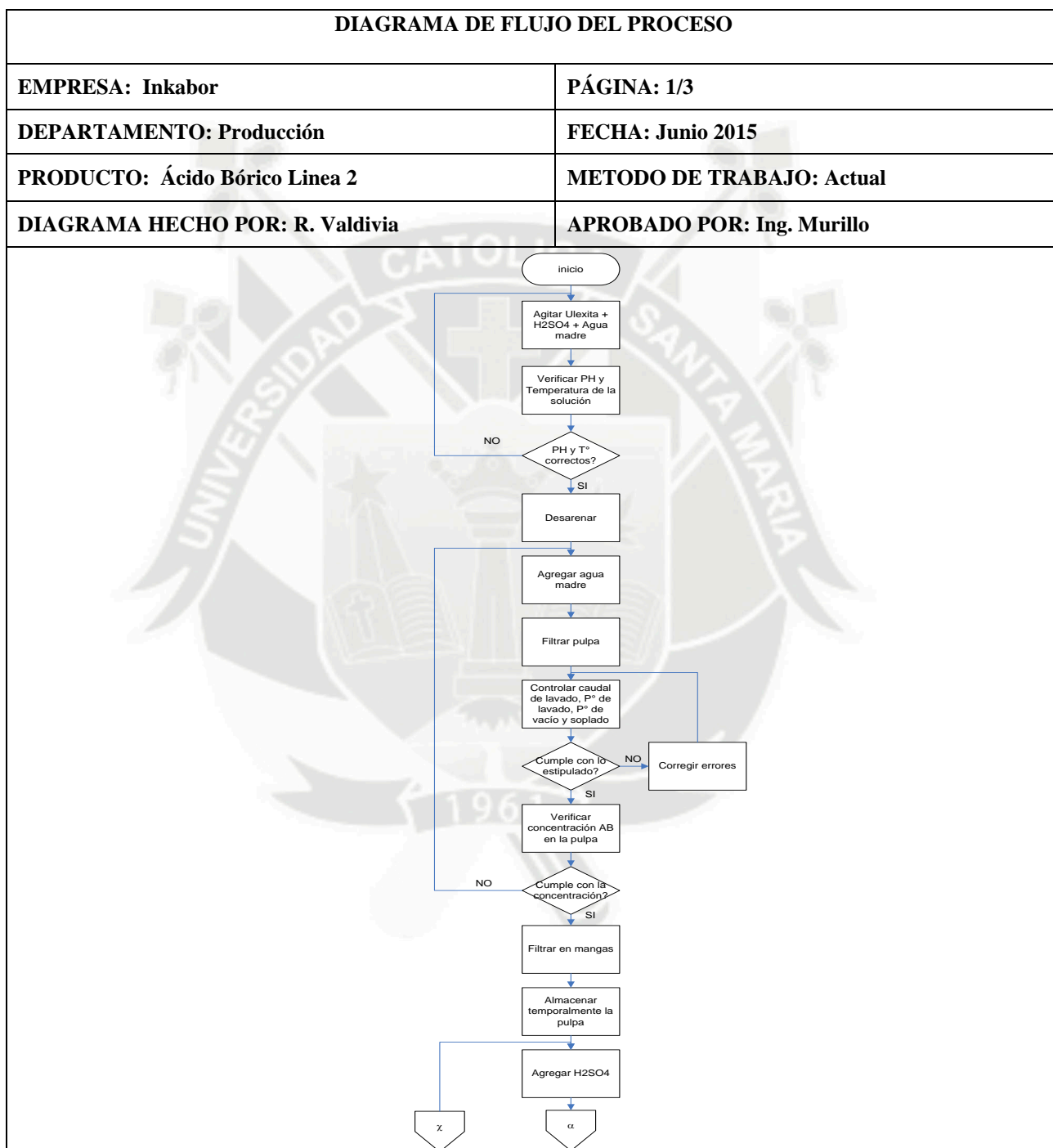
Gráfico 26: Layout integral (Línea 2 y línea 3)



Fuente: Inkabor

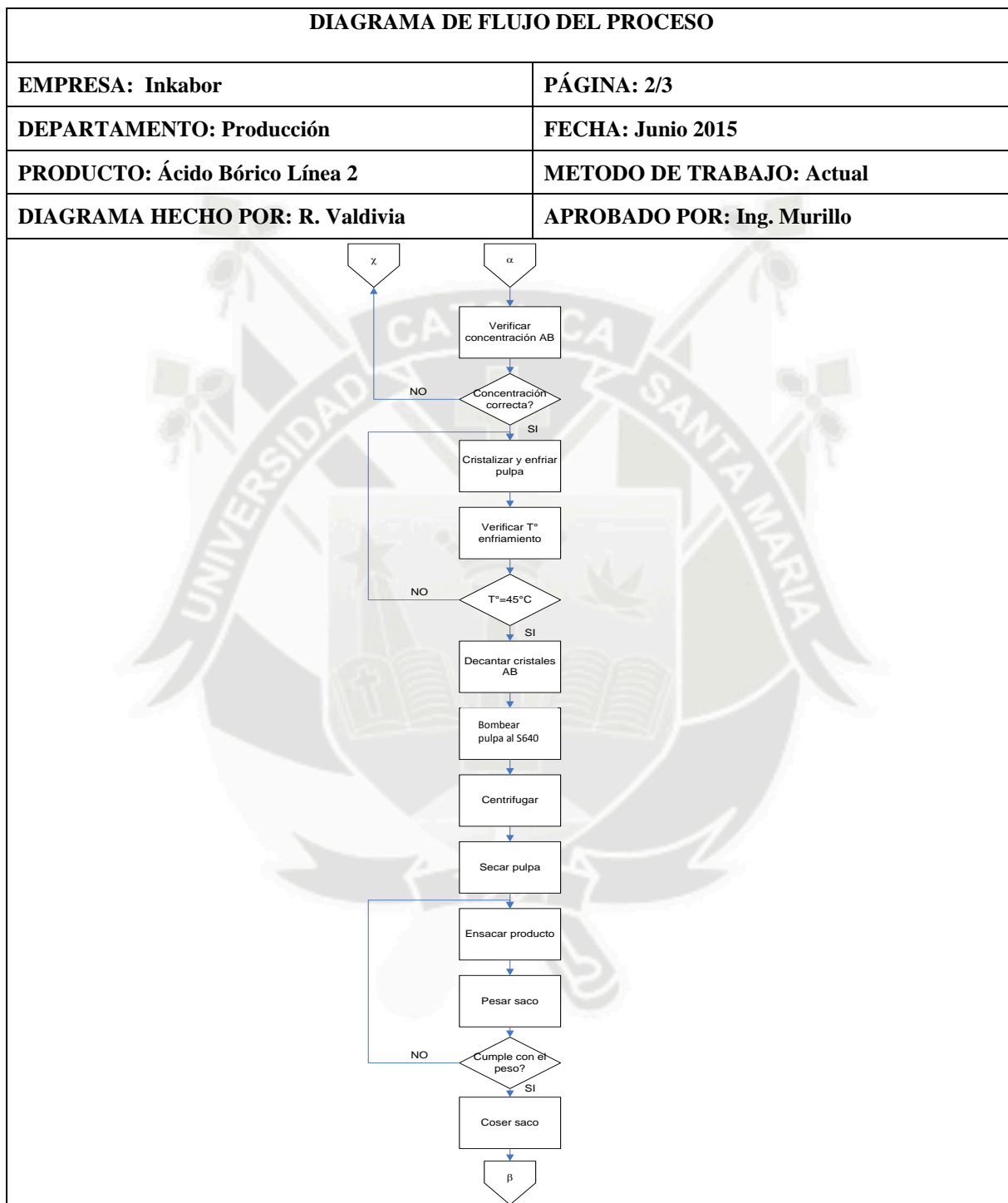
3.1.4. Flujogramas

Gráfico 27: Flujograma Ácido Bórico CQ – Parte 1



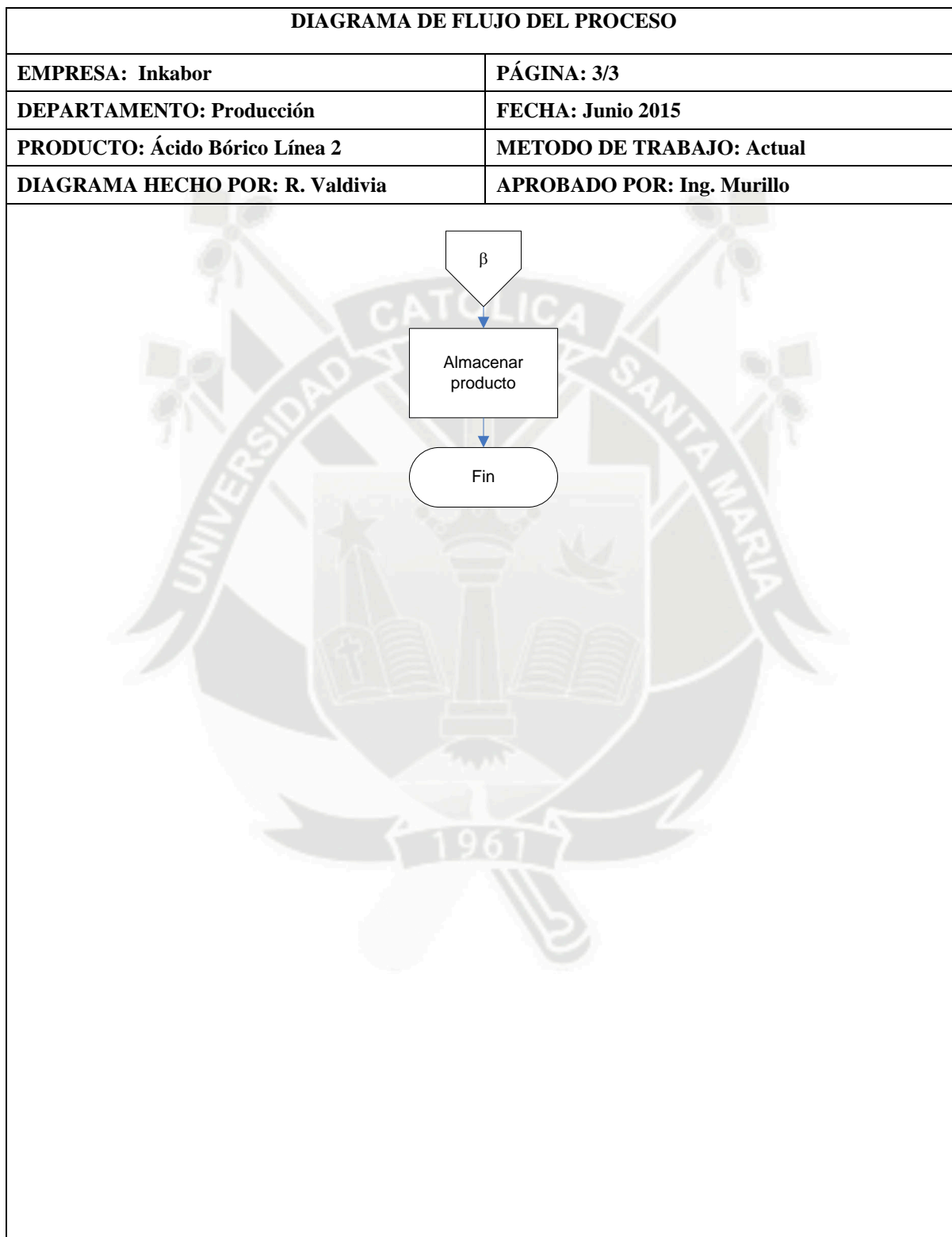
Fuente: Propia

Gráfico 28: Flujograma Ácido Bórico CQ – Parte 2



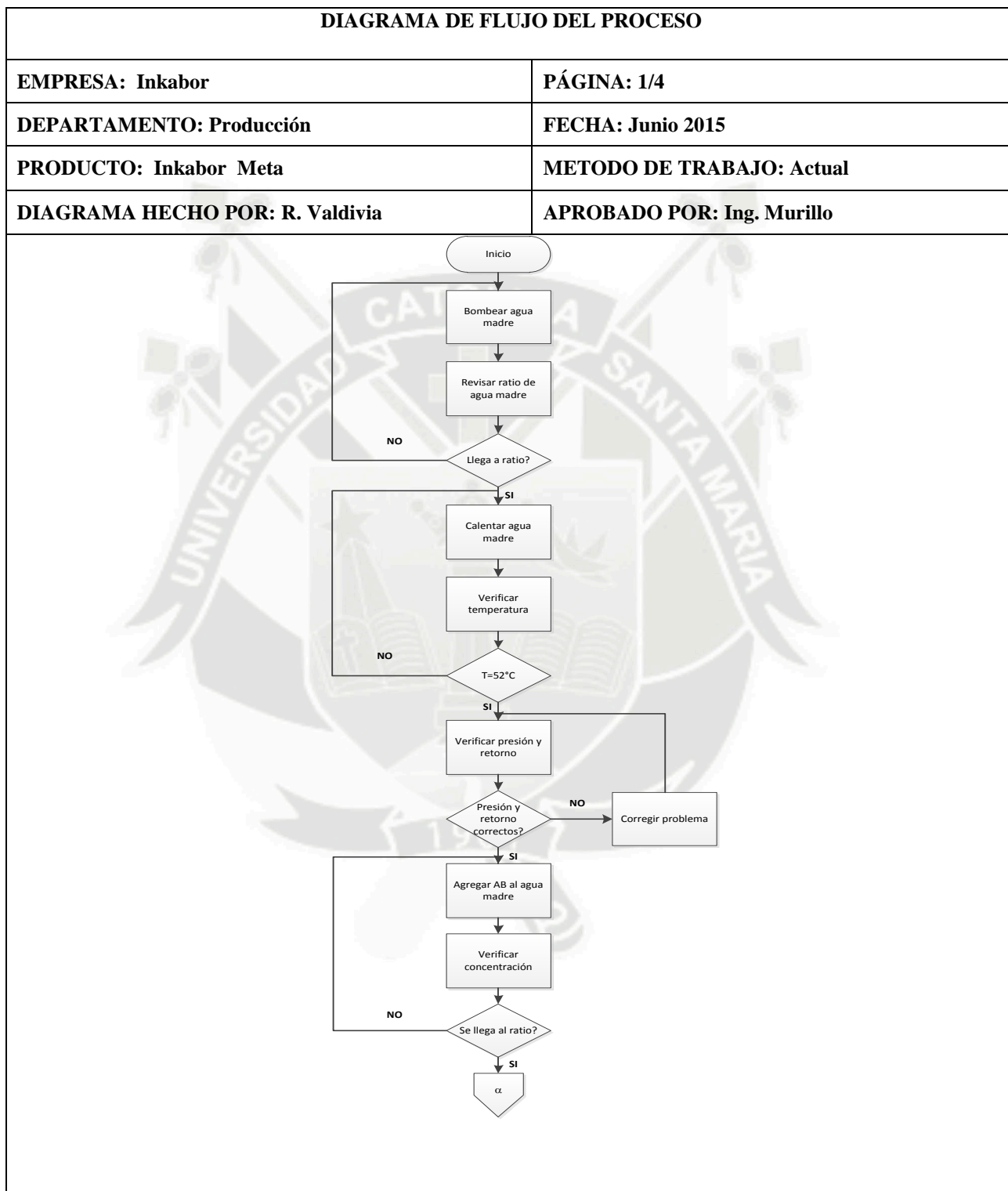
Fuente: Propia

Gráfico 29: Flujograma Ácido Bórico CQ – Parte 3



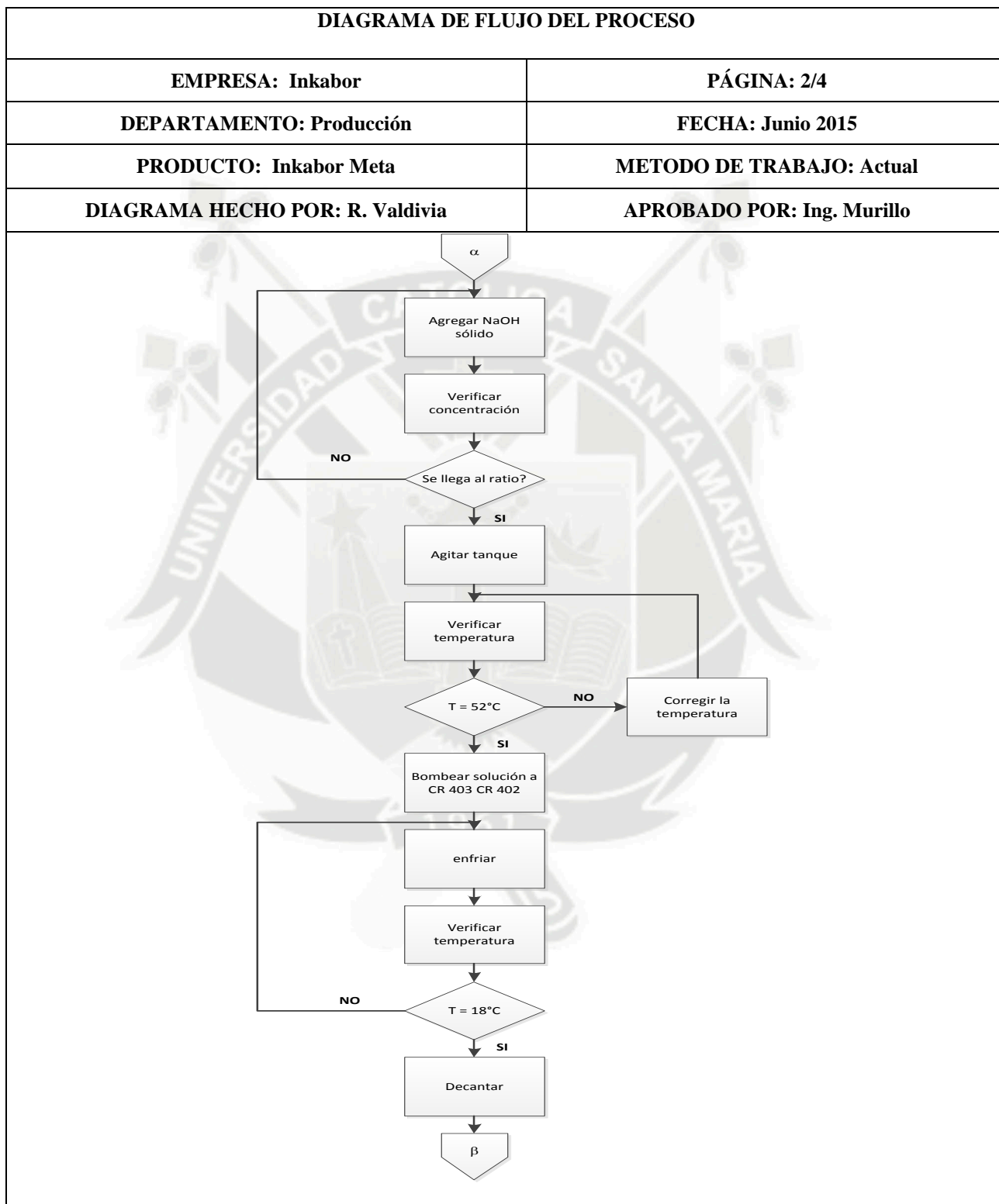
Fuente: Propia

Gráfico 30: Flujograma Inkabor Meta – Parte 1



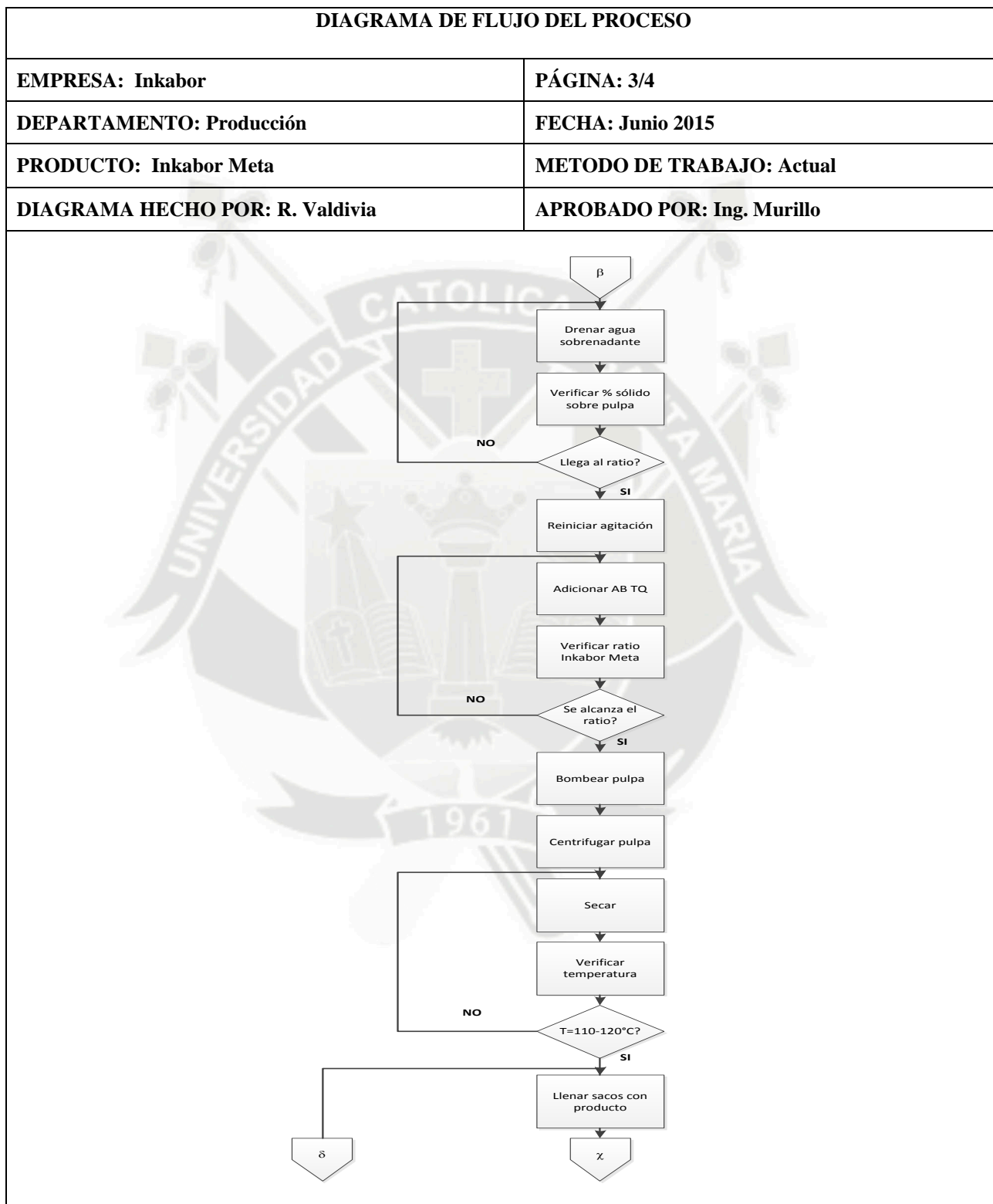
Fuente: Propia

Gráfico 31: Flujograma Inkabor Meta – Parte 2



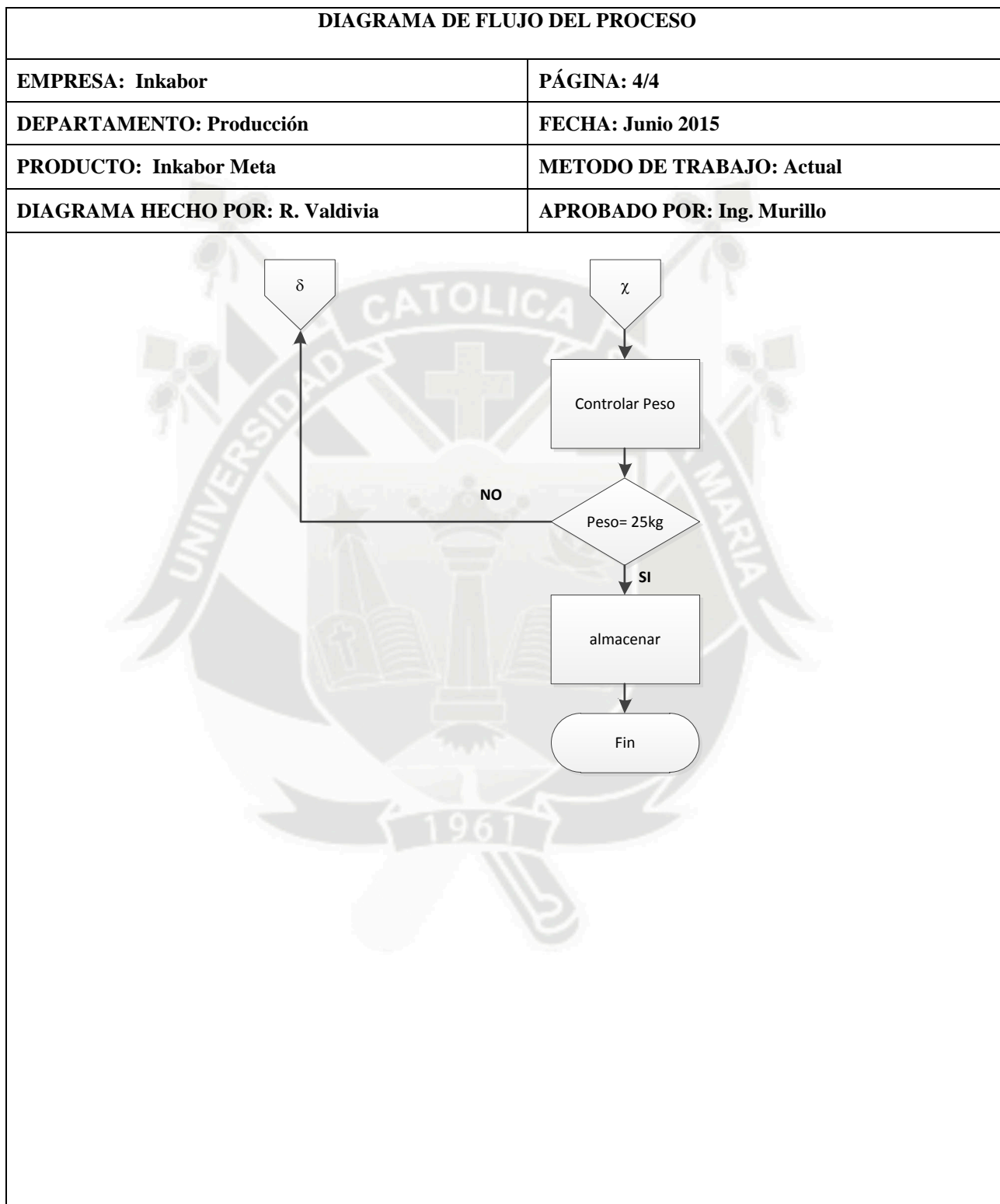
Fuente: Propia

Gráfico 32: Flujograma Inkabor Meta – Parte 3



Fuente: Propia

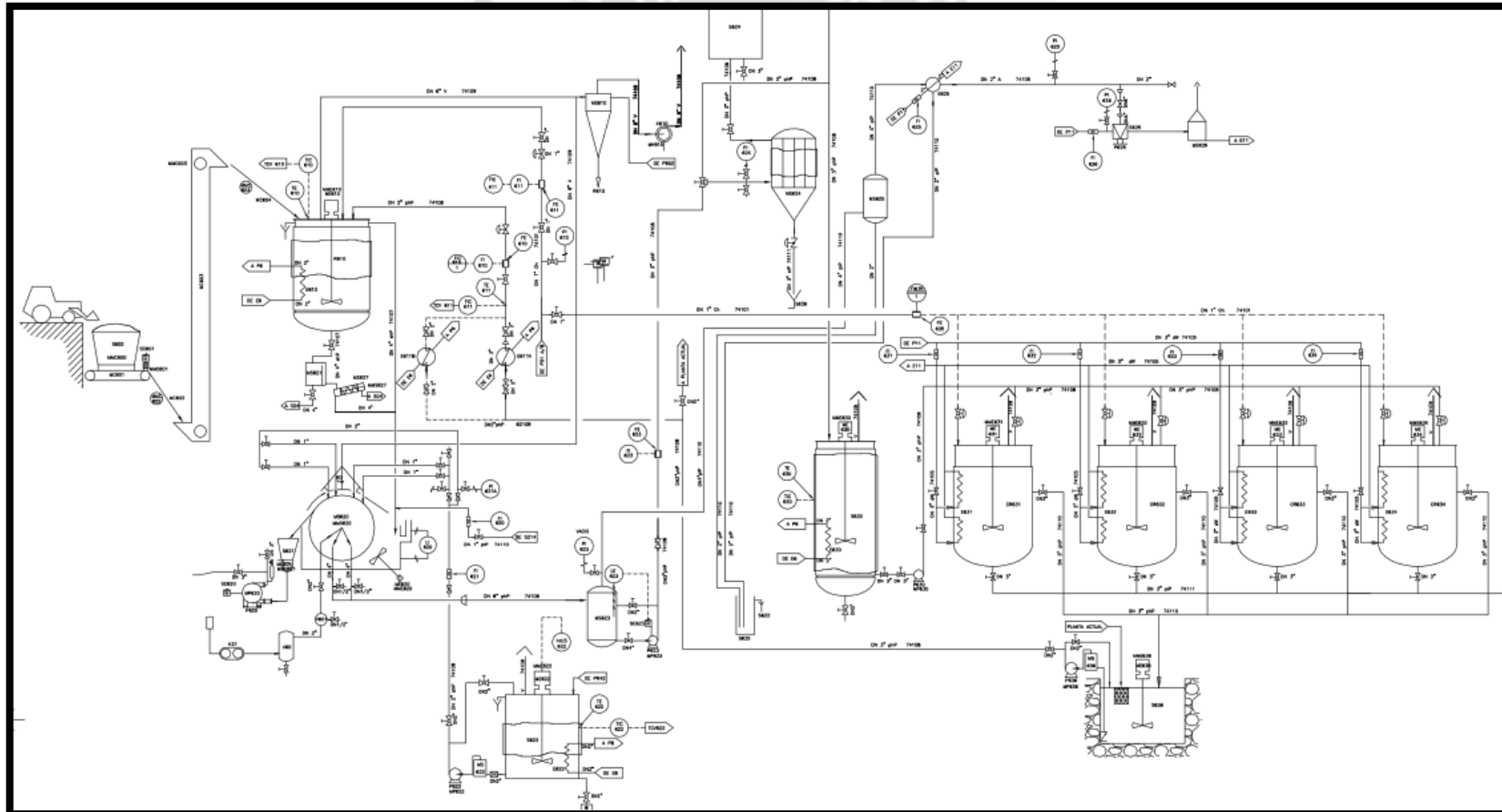
Gráfico 33: Flujograma Inkabor Meta – Parte 4



Fuente: Propia

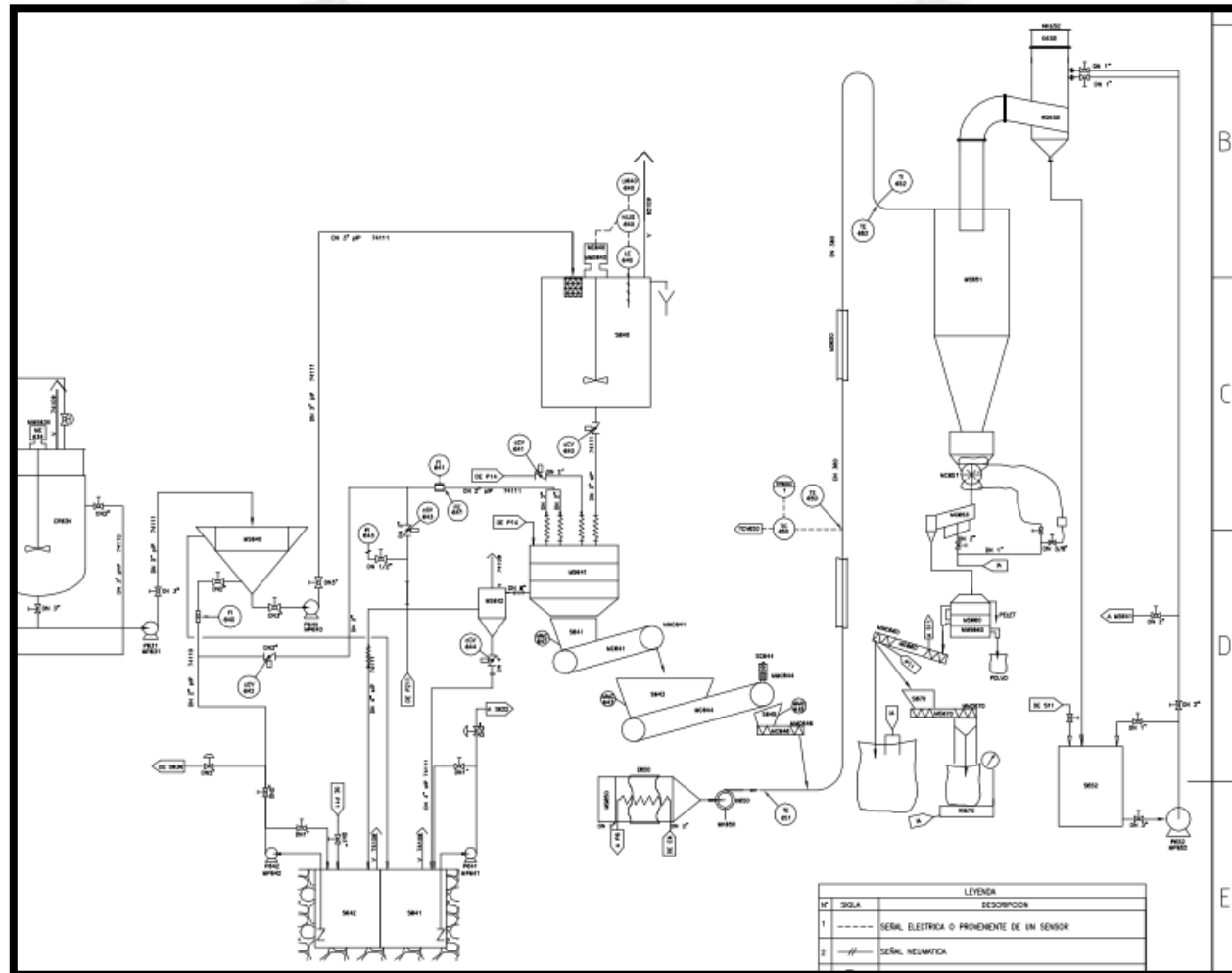
3.1.5. Flow-sheets

Gráfico 34: Flowsheet Línea 2 – parte 1



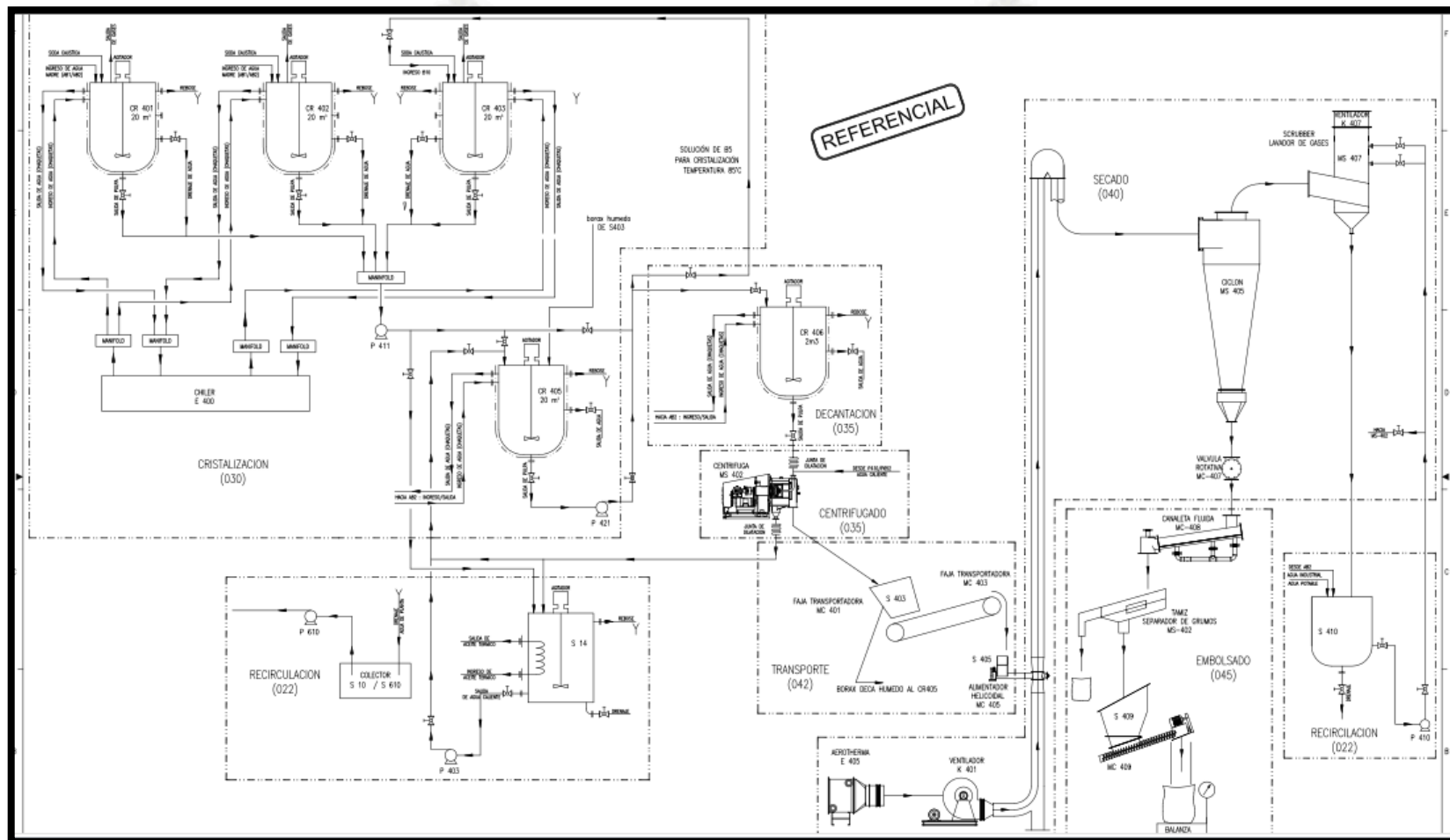
Fuente: Inkabor

Gráfico 35: Flowsheet Línea 2 – parte 2



Fuente: Inkabor

Gráfico 36: Flowsheet Línea 3



Fuente: Inkabor

3.2. Identificación de las variables exógenas y endógenas del sistema

X1: Tiempo entre batches de Ácido Bórico CQ de Línea 2

X2: Tiempo entre batches de Inkabor Meta

Ácido Bórico

Y101: Tiempo de reacción en reactor de L2 (12 m³)

Y102: Tiempo de filtrado en Filtro Tambor L2

Y103: Tiempo de cargado cristalizador L2 (12 m³)

Y104: Tiempo de análisis de la pulpa del cristalizador L2 (12 m³)

Y105: Tiempo de enfriamiento

Y106: Tiempo de decantado

Y107: Tiempo de descarga de Agua Madre

Y108: Tiempo de bombeo de la pulpa del cristalizador de L2 al tanque S640

Y109: Tiempo de centrifugado en L2 de 250 kg de AB

Y110: Tiempo de secado en L2 de 25 kg de AB

Y111: Tiempo de ensacado de un saco de 25 kg de AB en L2

Y112: Tiempo de cosido de un saco de 25 kg de AB en L2

Inkabor Meta

Y201: Tiempo de bombeo de AM a CR405

Y202: Tiempo de preparación de un batch en CR405 L3

Y203: Tiempo de bombeo de CR405 a CR402/403

Y204: Tiempo de enfriamiento y decantado en L3

Y205: Tiempo regulación del ratio en L3

Y206: Tiempo de sifoneo en L3

Y207: Tiempo bombeo del batch al S640 de L2

Y208: Tiempo de centrifugado de 250 kg de pulpa en L2

Y209: Tiempo de secado de 25 kg de I.Meta en L2

Y210: Tiempo de ensacado de 1000 kg de I.Meta en L2

3.3. Identificación de los problemas potenciales

De acuerdo a la encuesta que se encuentra en el Anexo D que fue contestada por los 6 ingenieros a cargo del proceso de producción de la unidad Rio Seco, se determinaron los siguientes problemas potenciales del proceso de producción del Inkabor Meta y del Ácido Bórico que se producen en las líneas 2 y 3.

- Cuellos de botella en el enfriamiento de L2: Esto debido a que se requiere un diferencial de temperatura de casi 35°C en el caso del ácido bórico y en el caso del Inkabor Meta de 34°C, el cual se debe realizar lentamente, ya que cambios bruscos de temperatura afectarían la calidad del producto final tanto en impurezas como en granulometría.
- Cuellos de botella en la centrifugación de L2: este es el cuello de botella más claro, ya que en este punto del proceso es que ambos productos se juntan en la línea 2 para posteriormente continuar con el proceso de secado y ensacado. Esto es mandatorio debido a que las características de la centrifuga que existe en la línea 2 no son las adecuadas para centrifugar el Inkabor Meta, pero no es posible cambiarla debido a que en este tipo de centrifuga (de la línea 3) se trabaja el segundo producto más importante de la empresa que tiene por nombre Inkabor Deca. Hay que tener en cuenta que debido a que la producción del Inkabor Meta, cuando recién fue

creado, era aproximadamente 8 TM por mes, esto no repercutía en la cantidad de Ácido bórico CQ que se dejara de producir por lo que el uso de la línea 2 para centrifugar el Inkabor Meta no era problema, pero debido a que esta producción se ha incrementado, es que cada vez los problemas han sido más notorios y en un futuro cercano probablemente se vuelvan imposibles de solucionar en el corto plazo.

- Cuellos de botella debido a que la pulpa se acumula y no hay cristalizadores disponibles en L2: este es un problema latente y que a la fecha aún no causa demasiada incomodidad en la empresa debido a que la capacidad del reactor es mayor a la capacidad de los cristalizadores y almacena la pulpa que está a la espera de un cristizador libre para empezar con el proceso de formación de cristales.
- Cuellos de botella debido a que la faja de línea 2 que está antes del proceso de secado y que transporta el producto de la centrifuga al secador no alcanza una mayor velocidad de transporte y por ende define la velocidad de producción de la Línea 2 haciéndola más lenta de lo que verdaderamente podría llegar a ser.
- Demora en la producción de más Inkabor Meta debido a que sólo se tienen 2 cristalizadores disponibles en la Línea 3 por el tipo de producción que se hace que es en batch.

CAPITULO 4: Recopilación y Análisis de Datos de Entrada

4.1. Plan de recopilación de información

4.1.1. Descripción del procedimiento para la recolección de datos

- Determinación de los procesos del sistema: debido a que en este estudio estamos analizando la producción de 2 productos de la empresa Inkabor con el fin de optimizar su producción conjunta, en esta parte de la recopilación de datos del sistema, se realizó una visita a planta guiada por el Gerente de Producción, el cual explicó detalladamente los procesos de producción de cada uno de los productos en campo. Así mismo acompañó su explicación con diferentes Flowsheets, Layouts de la planta y Diagramas como DAP y DOP que son anexados también en el presente estudio en el Capítulo 3. Como resultado de esta parte de la recopilación de datos obtuvimos la lista de variables exógenas del sistema, las cuales suman 13 para el Ácido bórico y 11 para el Inkabor Meta.
- Para obtener la muestra de 30 datos para cada uno de los procesos determinados previamente, fue en base a data histórica corroborada por los ingenieros de planta que indicaron que la información histórica seleccionada como muestra era válida para proceder a determinar el tamaño de muestra final.

4.1.2. Las fuentes de información

Como fuente de información, tal como se ha explicado anteriormente, se optó por tomar data histórica validada por los ingenieros de producción, los cuales aseguraron que la data era real y representaba el proceso actual de producción, por lo que sí nos servía para el presente estudio de investigación.

4.1.3. El periodo de estudio

El estudio se ha realizado desde Marzo del 2014 hasta Junio del 2015. Como se puede observar el periodo es largo debido a que se requirieron reuniones con los Jefes de Producción, Toma de encuesta, Visitas a Planta, Determinación de las variables, Revisiones del informe con el Gerente de Producción, Recopilación de data histórica, Calculo de tamaño de muestras, Recopilación nuevamente de data histórica, Realizar la prueba de bondad de ajuste, determinación de las distribuciones de probabilidad, generación del modelo de simulación en Arena, Validación del Modelo, Análisis de resultados, Definición de optimizaciones y algunos otros detalles para ajustar el estudio.

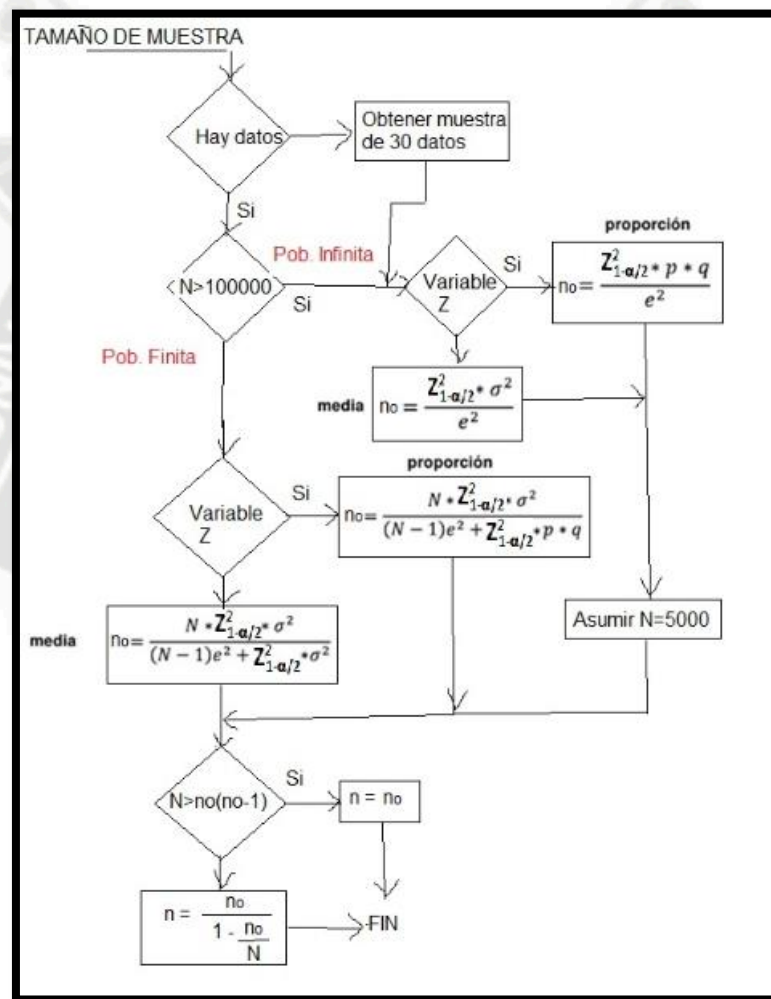
4.2. Análisis de datos

4.2.1. Determinación de tamaños de muestra

Para esta parte del proceso de recopilación de datos del sistema, hemos tomado una pequeña muestra piloto de 30 datos, determinando su media y varianza para así poder

determinar el n_0 con un error máximo permitido de 5% y un nivel de confianza de 95%, asumiendo un tamaño de la población de 5000 datos. Con estos parámetros y las fórmulas que se muestra en el Gráfico 1, se obtuvieron los tamaños de muestra para todas las variables identificadas para el sistema a simular.

Gráfico 37: Determinación del tamaño de muestra



Fuente: Ingeniero Efraín Murillo – Año 2013, Arequipa - Perú

Para la toma de tiempos de los procesos identificados, se recurrió a la consulta de datos históricos que brindó la empresa, ya que era complicado ingresar a la planta por temas de seguridad y por la longitud de los tiempos de cada uno de los procesos identificados.

Así mismo se corroboraron los datos históricos recopilados mediante la consulta de los tiempos a los expertos. Esto fue necesario hacerlo, ya que como la data era histórica, necesitaba saber si ésta había variado o no en el tiempo y se realizó una reunión con los jefes de producción que trabajan en la empresa hace más de 20 años y se verificó que la data histórica sí servía para este estudio de investigación y representaba la realidad para ambos procesos de producción.

A continuación se muestra la data inicial recopilada para cada una de las variables de los 2 procesos de producción a investigar. En la parte inferior de los gráficos se puede identificar el resultado del tamaño de muestra necesario para cada una de las variables del modelo con el fin de determinar la distribución de probabilidad de cada variable.

Tabla 2: Muestra piloto y Cálculo del tamaño de muestra para las variables del Ácido Bórico

Data inicial Ácido Bórico														
	X1	Y101	Y102	Y103	Y104	Y105	Y106	Y107	Y108	Y109	Y110	Y111	Y112	
BATCH	tiempo entre batches	reacción	filtrado	cargado	análisis de pulpa del Cx	enfriamiento	decantado	descarga de AM	bombeo de pulpa	centrifugado	secado	ensacado	cosido	
1	40.00	40.00	40.00	53.00	8.50	240.00	20.00	20.00	13.50	10.00	0.80	0.70	1.00	
2	40.00	40.00	40.00	53.00	11.50	270.00	20.00	20.50	13.90	10.00	0.93	0.71	1.10	
3	40.00	40.00	40.00	53.00	10.00	250.00	20.00	20.30	14.20	10.00	0.92	0.87	1.02	
4	40.00	40.00	40.00	53.00	10.50	260.00	20.00	20.10	15.20	10.00	0.95	0.90	0.90	
5	40.00	40.00	40.00	53.00	9.00	260.00	20.00	17.80	15.60	10.00	1.15	1.30	0.75	
6	40.00	40.00	40.00	53.00	9.50	250.00	20.00	18.50	16.50	10.00	1.12	1.10	0.69	
7	40.00	40.00	40.00	53.00	11.00	240.00	20.00	19.00	15.90	10.00	1.11	1.30	0.99	
8	40.00	40.00	40.00	53.00	8.50	270.00	20.00	19.30	16.00	10.00	0.98	1.00	1.05	
9	40.00	40.00	40.00	53.00	8.50	270.00	20.00	20.10	15.80	10.00	1.01	1.10	1.30	
10	40.00	40.00	40.00	53.00	9.00	250.00	20.00	20.80	15.20	10.00	1.01	1.00	1.25	
11	40.00	40.00	40.00	53.00	12.00	260.00	20.00	21.50	15.30	10.00	0.70	0.99	0.76	
12	40.00	40.00	40.00	53.00	11.50	240.00	20.00	22.25	14.90	10.00	1.03	0.98	1.00	
13	40.00	40.00	40.00	53.00	10.00	240.00	20.00	22.30	14.80	10.00	1.06	0.73	1.00	
14	40.00	40.00	40.00	53.00	10.30	250.00	20.00	20.50	13.30	10.00	1.25	0.89	1.00	
15	40.00	40.00	40.00	53.00	10.50	270.00	20.00	20.90	16.70	10.00	1.09	0.95	1.00	
16	40.00	40.00	40.00	53.00	9.70	260.00	20.00	19.50	16.00	10.00	1.04	1.01	1.30	
17	40.00	40.00	40.00	53.00	9.80	250.00	20.00	19.50	15.90	10.00	1.06	1.05	1.25	
18	40.00	40.00	40.00	53.00	9.50	270.00	20.00	18.00	14.00	10.00	1.25	1.02	0.99	
19	40.00	40.00	40.00	53.00	11.00	240.00	20.00	18.50	14.20	10.00	0.69	1.10	0.99	
20	40.00	40.00	40.00	53.00	11.50	260.00	20.00	19.90	16.10	10.00	1.35	1.00	1.01	
21	40.00	40.00	40.00	53.00	8.50	250.00	20.00	18.00	15.10	10.00	1.25	1.30	1.00	
22	40.00	40.00	40.00	53.00	9.00	240.00	20.00	18.60	15.00	10.00	1.00	0.80	0.96	
23	40.00	40.00	40.00	53.00	10.10	260.00	20.00	21.50	14.00	10.00	0.98	0.90	0.95	
24	40.00	40.00	40.00	53.00	10.20	270.00	20.00	22.30	14.90	10.00	1.01	1.20	0.94	
25	40.00	40.00	40.00	53.00	10.00	270.00	20.00	20.50	13.50	10.00	1.01	1.30	0.90	
26	40.00	40.00	40.00	53.00	10.00	260.00	20.00	20.30	14.00	10.00	0.97	1.20	1.10	
27	40.00	40.00	40.00	53.00	11.00	240.00	20.00	19.60	14.50	10.00	1.03	1.10	1.09	
28	40.00	40.00	40.00	53.00	9.50	250.00	20.00	19.20	16.00	10.00	0.93	1.02	0.70	
29	40.00	40.00	40.00	53.00	9.50	240.00	20.00	20.00	15.50	10.00	0.75	1.01	1.30	
30	40.00	40.00	40.00	53.00	8.00	270.00	20.00	21.00	15.00	10.00	0.95	0.98	1.00	
media	40.0000	40.0000	40.0000	53.0000	9.9200	255.0000	20.0000	20.0083	15.0167	10.0000	1.0127	1.0170	1.0097	
var	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0803	136.2069	0.0000	1.5738	0.8821	0.0000	0.0236	0.0281	0.0261	
e	2	2	2	2	2.65	0.2976	2.55	1	0.300125	0.300333333	0.5	0.04050667	0.04068	0.04038667
n0	0	0	0	0	46.85769932	80.46942158	0	67.12115163	37.56954263	0	55.2861602	65.1777488	61.5203576	
N	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	
n0(n0-1)	0	0	0	0	2148.786286	6394.858387	0	4438.127844	1373.900991	0	3001.27335	4182.96119	3723.23404	
n	0	0	0	0	47	82	0	68	38	0	56	66	62	

Fuente: Propia

Tabla 3: Muestra piloto y Cálculo del tamaño de muestra para las variables del Inkabor Meta

Data inicial Inkabor Meta											
BATCH	X2	Y201	Y202	Y203	Y204	Y205	Y206	Y207	Y208	Y209	Y210
	tiempo entre batches	bombeo de AM	preparacion	bombeo	enfriado y decantado	regulacion ratio	sifonerar	bombeo al S640	centrifugado de 250 kg	secado de 25 kg	ensacado (1000 kg)
1	600	30.00	465.00	20.00	480.00	15.00	30.00	30.00	8.00	0.80	1.00
2	750	20.00	460.00	20.00	570.00	12.00	30.00	45.00	8.00	0.93	1.00
3	900	22.50	405.00	20.00	630.00	14.00	30.00	45.00	11.00	0.92	1.00
4	740	25.00	600.00	20.00	405.00	15.00	30.00	30.00	12.00	0.95	1.00
5	900	27.50	400.00	20.00	345.00	10.00	30.00	60.00	10.00	1.15	1.00
6	600	30.00	465.00	20.00	550.00	14.00	30.00	60.00	12.00	1.12	1.00
7	720	30.00	540.00	20.00	585.00	13.00	30.00	45.00	8.00	1.11	1.00
8	900	26.00	420.00	20.00	600.00	15.00	30.00	60.00	8.00	0.98	1.00
9	660	26.00	460.00	20.00	420.00	16.00	30.00	45.00	10.00	1.01	1.00
10	720	27.50	525.00	20.00	390.00	17.00	30.00	30.00	10.00	1.01	1.00
11	900	20.00	445.00	20.00	450.00	16.00	30.00	30.00	12.00	0.70	1.00
12	780	22.50	580.00	20.00	405.00	15.00	30.00	30.00	8.00	1.03	1.00
13	780	30.00	465.00	20.00	480.00	15.00	30.00	30.00	8.00	1.06	1.00
14	780	20.00	460.00	20.00	570.00	12.00	30.00	45.00	8.00	1.25	1.00
15	600	22.50	405.00	20.00	630.00	14.00	30.00	45.00	11.00	1.09	1.00
16	780	26.00	550.00	20.00	405.00	15.00	30.00	30.00	12.00	1.04	1.00
17	900	29.50	420.00	20.00	345.00	10.00	30.00	60.00	10.00	1.06	1.00
18	720	30.00	465.00	20.00	550.00	14.00	30.00	60.00	12.00	1.25	1.00
19	720	30.00	540.00	20.00	585.00	13.00	30.00	45.00	8.00	0.69	1.00
20	900	27.00	420.00	20.00	600.00	15.00	30.00	60.00	8.00	1.35	1.00
21	600	27.00	330.00	20.00	420.00	16.00	30.00	45.00	10.00	1.25	1.00
22	720	28.50	525.00	20.00	390.00	17.00	30.00	30.00	10.00	1.00	1.00
23	900	20.00	445.00	20.00	450.00	16.00	30.00	30.00	12.00	0.98	1.00
24	660	22.50	480.00	20.00	405.00	15.00	30.00	30.00	8.00	1.01	1.00
25	800	30.00	465.00	20.00	480.00	15.00	30.00	30.00	8.00	1.01	1.00
26	1500	20.00	410.00	20.00	570.00	12.00	30.00	45.00	8.00	0.97	1.00
27	840	22.50	405.00	20.00	630.00	14.00	30.00	45.00	11.00	1.03	1.00
28	660	27.50	500.00	20.00	405.00	15.00	30.00	30.00	12.00	0.93	1.00
29	900	28.50	315.00	20.00	345.00	10.00	30.00	60.00	10.00	0.75	1.00
30	600	30.00	465.00	20.00	550.00	14.00	30.00	60.00	12.00	0.95	1.00
media	784.3333	25.9500	461.0000	20.0000	488.0000	14.1333	30.0000	43.0000	9.8333	1.0127	1.0000
var	29749.5402	13.9198	4269.6552	0.0000	9083.7931	3.6368	0.0000	151.0345	2.8333	0.0236	0.0000
e	39.21666667	1.038	18.44	1	24.4	0.565333333	1.5	2.58	0.491666667	0.040506667	0.05
n0	74.31064782	49.63080184	48.23731334	0	58.6137792	43.71396282	0	87.16634652	45.02650962	55.28616025	0
N	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
n0(n0-1)	5447.761731	2413.585689	2278.601085	0	3376.961333	1867.196582	0	7510.805619	1982.360059	3001.273355	0
n	76	50	49	0	59	44	0	89	46	56	0

Fuente: Propia

De acuerdo a los tamaños de muestra obtenidos con las formulas presentadas, se han obtenido los siguientes datos para cada uno de los productos a estudiar. Tal como lo comenté previamente, la data no fue tomada en el momento del proceso de producción, sino que se recopiló información histórica con que la empresa cuenta y se muestra en los siguientes cuadros:

Tabla 4: Base de datos de muestras tomadas para el Ácido Bórico

Data de las muestras tomadas para el Ácido Bórico													
tamaño de muestra	0	0	0	0	47	82	0	68	38	0	56	66	62
Distribución de probabilidad	CONS(40)	CONS(40)	CONS(40)	CONS(53)	NORM(10,0.5)	UNIF(240,270)	CONS(20)	NORM(20,0.75)	NORM(15,0.5)	CONS(10)	NORM(1,0.1)	NORM(1,0.1)	NORM(1,0.1)
	X1	Y101	Y102	Y103	Y104	Y105	Y106	Y107	Y108	Y109	Y110	Y111	Y112
1					8.50	240.00		20.00	13.50		0.80	0.70	1.00
2					11.50	270.00		20.50	13.90		0.93	0.71	1.10
3					10.00	250.00		20.30	14.20		0.92	0.87	1.02
4					10.50	260.00		20.10	15.20		0.95	0.90	0.90
5					9.00	260.00		17.80	15.60		1.15	1.30	0.75
6					9.50	250.00		18.50	16.50		1.12	1.10	0.69
7					11.00	240.00		19.00	15.90		1.11	1.30	0.99
8					8.50	270.00		19.30	16.00		0.98	1.00	1.05
9					8.50	270.00		20.10	15.80		1.01	1.10	1.30
10					9.00	250.00		20.80	15.20		1.01	1.00	1.25
11					12.00	260.00		21.50	15.30		0.70	0.99	0.76
12					11.50	240.00		22.25	14.90		1.03	0.98	1.00
13					10.00	240.00		22.30	14.80		1.06	0.73	1.00
14					10.30	250.00		20.50	13.30		1.25	0.89	1.00
15					10.50	270.00		20.90	16.70		1.09	0.95	1.00
16					9.70	260.00		19.50	16.00		1.04	1.01	1.30
17					9.80	250.00		19.50	15.90		1.06	1.05	1.25
18					9.50	270.00		18.00	14.00		1.25	1.02	0.99
19					11.00	240.00		18.50	14.20		0.69	1.10	0.99
20					11.50	260.00		19.90	16.10		1.35	1.00	1.01
21					8.50	250.00		18.00	15.10		1.25	1.30	1.00
22					9.00	240.00		18.60	15.00		1.00	0.80	0.96
23					10.10	260.00		21.50	14.00		0.98	0.90	0.95
24					10.20	270.00		22.30	14.90		1.01	1.20	0.94
25					10.00	270.00		20.50	13.50		1.01	1.30	0.90
26					10.00	260.00		20.30	14.00		0.97	1.20	1.10
27					11.00	240.00		19.60	14.50		1.03	1.10	1.09
28					9.50	250.00		19.20	16.00		0.93	1.02	0.70
29					9.50	240.00		20.00	15.50		0.75	1.01	1.30
30					8.00	270.00		21.00	15.00		0.95	0.98	1.00
31					12.00	240.00		20.00	16.50		0.80	0.70	1.00
32					11.50	270.00		20.50	15.90		0.93	0.71	1.10
33					10.00	250.00		20.30	16.00		0.92	0.87	1.02
34					10.30	260.00		20.10	15.80		0.95	0.90	0.90
35					10.50	260.00		17.80	15.20		1.15	1.30	0.75
36					9.70	250.00		18.50	15.30		1.12	1.10	0.69
37					9.80	240.00		19.00	14.90		1.11	1.30	0.99
38					9.50	270.00		19.30	14.80		0.98	1.00	1.05
39					11.00	270.00		20.10			1.01	1.10	1.30
40					11.50	250.00		20.80			1.01	1.00	1.25
41					8.50	260.00		21.50			0.70	0.99	0.76
42					9.00	240.00		22.25			1.03	0.98	1.00
43					10.10	240.00		22.30			1.06	0.73	1.00
44					10.20	250.00		20.50			1.25	0.89	1.00
45					10.00	270.00		20.90			1.09	0.95	1.00
46					9.50	260.00		19.50			1.04	1.01	1.30
47					11.50	250.00		19.50			1.06	1.05	1.25
48						270.00		18.00			1.25	1.02	0.99
49						240.00		18.50			0.69	1.10	0.99
50						260.00		19.90			1.35	1.00	1.01
51						250.00		18.00			1.25	1.30	1.00
52						240.00		18.60			1.00	0.80	0.96
53						260.00		21.50			0.98	0.90	0.95
54						270.00		22.30			1.01	1.20	0.94
55						270.00		20.50			1.01	1.30	0.90
56						260.00		20.30			0.97	1.20	1.10
57						240.00		19.60				1.10	1.09
58						250.00		19.20				1.02	0.70
59						240.00		20.00				1.01	1.30
60						270.00		21.00				0.98	1.00
61						250.00		22.25				1.40	1.40
62						240.00		22.30				1.01	0.90
63						270.00		20.50				1.05	
64						270.00		20.90				1.02	
65						250.00		19.50				1.10	
66						260.00		19.50				1.00	
67						240.00		18.00					
68						240.00		18.50					
69						250.00							
70						270.00							
71						260.00							
72						250.00							
73						270.00							
74						240.00							
75						260.00							
76						250.00							
77						240.00							
78						260.00							
79						270.00							
80						270.00							
81						260.00							
82						240.00							

Fuente: Propia

Tabla 5: Base de datos de muestras tomadas para el Inkabor Meta

Data de las muestras tomadas para el Inkabor Meta											
Samplers de muestra	76	50	49	0	59	44	0	89	46	56	0
Distribucion de probabilidad	TRI(A(600,780,1500))	UNIF(20,30)	TRI(A(315,460,660))	CONS(20)	NORM(485,100)	UNIF(10,15)	CONS(30)	UNIF(30,60)	TRI(A(8,9,12))	NORM (1,0,1)	CONS(1)
	X2	Y201	Y202	Y203	Y204	Y205	Y206	Y207	Y208	Y209	Y210
1	600	30.00	465.00		480.00	15.00		30.00	8.00	0.80	
2	750	20.00	460.00		570.00	12.00		45.00	8.00	0.93	
3	900	22.50	405.00		630.00	14.00		45.00	11.00	0.92	
4	740	25.00	600.00		405.00	15.00		30.00	12.00	0.95	
5	900	27.50	400.00		345.00	10.00		60.00	10.00	1.15	
6	600	30.00	465.00		550.00	14.00		60.00	12.00	1.12	
7	720	30.00	540.00		585.00	13.00		45.00	8.00	1.11	
8	900	26.00	420.00		600.00	15.00		60.00	8.00	0.98	
9	660	26.00	460.00		420.00	16.00		45.00	10.00	1.01	
10	720	27.50	525.00		390.00	17.00		30.00	10.00	1.01	
11	900	20.00	445.00		450.00	16.00		30.00	12.00	0.70	
12	780	22.50	580.00		405.00	15.00		30.00	8.00	1.03	
13	780	30.00	465.00		480.00	15.00		30.00	8.00	1.06	
14	780	20.00	460.00		570.00	12.00		45.00	8.00	1.25	
15	600	22.50	405.00		630.00	14.00		45.00	11.00	1.09	
16	780	26.00	550.00		405.00	15.00		30.00	12.00	1.04	
17	900	29.50	420.00		345.00	10.00		60.00	10.00	1.06	
18	720	30.00	465.00		550.00	14.00		60.00	12.00	1.25	
19	720	30.00	540.00		585.00	13.00		45.00	8.00	0.69	
20	900	27.00	420.00		600.00	15.00		60.00	8.00	1.35	
21	600	27.00	330.00		420.00	16.00		45.00	10.00	1.25	
22	720	28.50	525.00		390.00	17.00		30.00	10.00	1.00	
23	900	20.00	445.00		450.00	16.00		30.00	12.00	0.98	
24	660	22.50	480.00		405.00	15.00		30.00	8.00	1.01	
25	800	30.00	465.00		480.00	15.00		30.00	8.00	1.01	
26	1500	20.00	410.00		570.00	12.00		45.00	8.00	0.97	
27	840	22.50	405.00		630.00	14.00		45.00	11.00	1.03	
28	660	27.50	500.00		405.00	15.00		30.00	12.00	0.93	
29	900	28.50	315.00		345.00	10.00		60.00	10.00	0.75	
30	600	30.00	465.00		550.00	14.00		60.00	12.00	0.95	
31	600	27.50	465.00		480.00	14.00		30.00	10.00	0.80	
32	750	30.00	540.00		570.00	15.00		45.00	12.00	0.93	
33	900	30.00	420.00		630.00	10.00		45.00	8.00	0.92	
34	740	26.00	460.00		405.00	14.00		30.00	8.00	0.95	
35	900	26.00	525.00		345.00	13.00		60.00	10.00	1.15	
36	600	27.50	445.00		550.00	15.00		60.00	10.00	1.12	
37	720	20.00	580.00		585.00	16.00		45.00	12.00	1.11	
38	900	22.50	465.00		600.00	17.00		60.00	8.00	0.98	
39	660	30.00	460.00		420.00	16.00		45.00	8.00	1.01	
40	720	20.00	405.00		390.00	15.00		30.00	8.00	1.01	
41	900	22.50	550.00		450.00	15.00		30.00	11.00	0.70	
42	780	26.00	420.00		405.00	12.00		30.00	12.00	1.03	
43	780	29.50	465.00		480.00	14.00		30.00	10.00	1.06	
44	780	30.00	540.00		570.00	15.00		45.00	12.00	1.25	
45	600	30.00	420.00		630.00			45.00	8.00	1.09	
46	780	27.00	330.00		405.00			30.00	8.00	1.04	
47	900	27.00	525.00		345.00			60.00		1.06	
48	720	28.50	445.00		550.00			60.00		1.25	
49	720	20.00	480.00		585.00			45.00		0.69	
50	900	22.50			600.00			60.00		1.35	
51	600				420.00			45.00		1.25	
52	720				390.00			30.00		1.00	
53	900				450.00			30.00		0.98	
54	660				405.00			30.00		1.01	
55	800				480.00			30.00		1.01	
56	1500				570.00			45.00		0.97	
57	840				630.00			45.00			
58	660				405.00			30.00			
59	900				345.00			60.00			
60	600							60.00			
61	740							30.00			
62	900							45.00			
63	600							45.00			
64	720							30.00			
65	900							60.00			
66	660							60.00			
67	720							45.00			
68	900							60.00			
69	780							45.00			
70	780							30.00			
71	780							30.00			
72	600							30.00			
73	780							30.00			
74	900							45.00			
75	720							45.00			
76	720							30.00			
77								60.00			
78								60.00			
79								45.00			
80								60.00			
81								45.00			
82								30.00			
83								30.00			
84								30.00			
85								30.00			
86								45.00			
87								45.00			
88								30.00			
89								60.00			

Fuente: Propia

4.2.2. Pruebas de bondad de ajuste

De acuerdo a las pruebas de bondad de ajuste para todas las variables del modelo, se resume en la siguiente tabla todas las distribuciones de probabilidad validadas por las diferentes pruebas de bondad de ajuste que brinda el Input Analyzer y debido a que todas las variables son de distribuciones continuas, todas ellas validaron por la prueba Kolmogorov Smirnov y solo 4 de ellas no validaron por la prueba de Chi cuadrado que es usada tanto para distribuciones continuas como discretas, pero esto no fue relevante ya que validaron por la otra prueba que sí es mandatoria.

Tabla 6: Lista de Distribuciones de probabilidad para variables del Ácido Bórico

Producto	Variable	Descripción de la variable	Distribución de probabilidad	Validó por Chi Cuadrado	Validó por Kolmogorov Smirnov
Ácido Bórico	X1	Tiempo entre batches de Ácido Bórico CQ de Línea 2	CONS(40)	si	si
Ácido Bórico	Y101	Tiempo de reacción en reactor de L2 (12 m ³)	CONS(40)	si	si
Ácido Bórico	Y102	Tiempo de filtrado en Filtro Tambor L2	CONS(40)	si	si
Ácido Bórico	Y103	Tiempo de cargado cristizador L2 (12 m ³)	CONS(53)	si	si
Ácido Bórico	Y104	Tiempo de análisis de la pulpa del cristizador L2 (12 m ³)	NORM(10,0.5)	no	si
Ácido Bórico	Y105	Tiempo de enfriamiento	UNIF(240,270)	si	si
Ácido Bórico	Y106	Tiempo de decantado	CONS(20)	si	si
Ácido Bórico	Y107	Tiempo de descarga de Agua Madre	NORM(20, 0.75)	si	si
Ácido Bórico	Y108	Tiempo de bombeo de la pulpa del cristizador de L2 al tanque S640	NORM(15,0.5)	si	si
Ácido Bórico	Y109	Tiempo de centrifugado en L2 de 250 kg de AB	CONS(10)	si	si
Ácido Bórico	Y110	Tiempo de secado en L2 de 25 kg de AB	NORM(1,0.1)	si	si
Ácido Bórico	Y111	Tiempo de ensacado de un saco de 25 kg de AB en L2	NORM(1,0.1)	si	si
Ácido Bórico	Y112	Tiempo de cosido de un saco de 25 kg de AB en L2	NORM(1,0.1)	si	si

Fuente: Propia

Tabla 7: Lista de Distribuciones de probabilidad para variables del Inkabor Meta

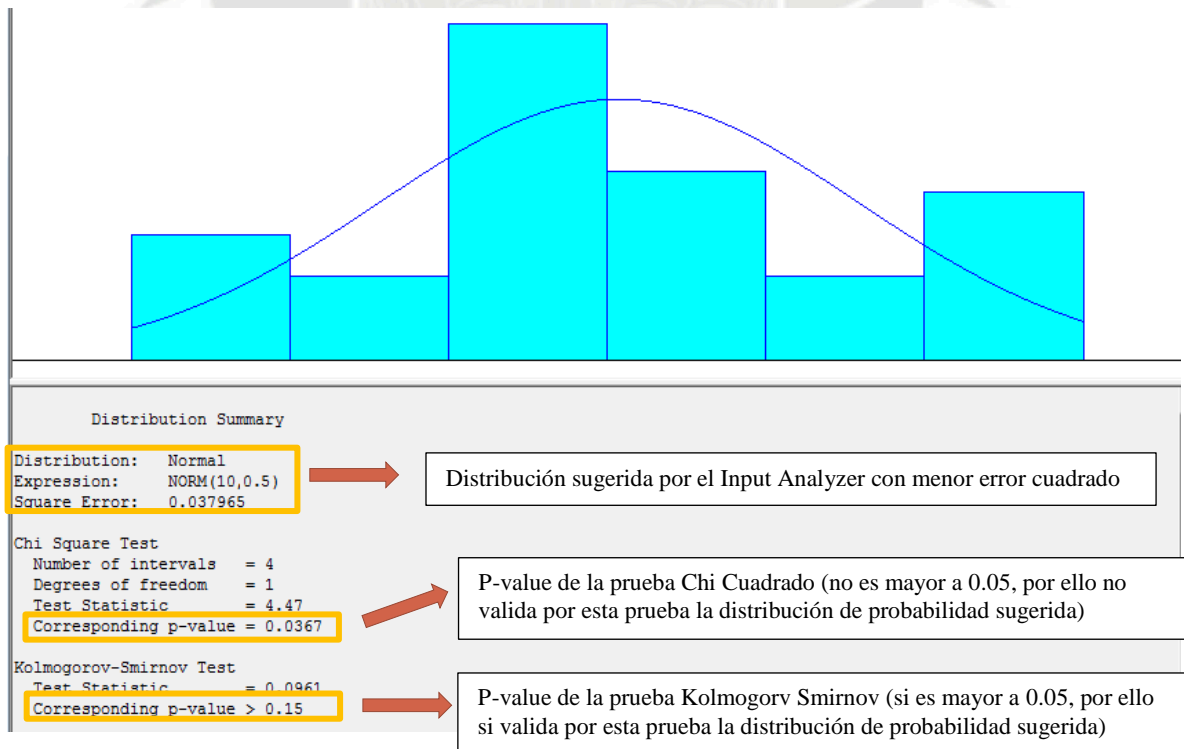
Variable	Descripción de la variable	Distribución de probabilidad	Validó por Chi Cuadrado	Validó por Kolmogorov Smirnov
X2	Tiempo entre batches de Inkabor Meta	TRIA(600,780,1500)	si	si
Y201	Tiempo de bombeo de AM a CR405	UNIF(20,30)	si	si
Y202	Tiempo de preparación de un batch en CR405 L3	TRIA (315,460,660)	no	si
Y203	Tiempo de bombeo de CR405 a CR402/403	CONS(20)	si	si
Y204	Tiempo de enfriamiento y decantado en L3	NORM (485, 100)	si	si
Y205	Tiempo regulación del ratio en L3	UNIF(10,15)	si	si
Y206	Tiempo de sifoneo en L3	CONS(30)	si	si
Y207	Tiempo bombeo del batch al S640 de L2	UNIF(30,60)	si	si
Y208	Tiempo de centrifugado de 250 kg de pulpa en L2	TRIA(8,9,12)	no	si
Y209	Tiempo de secado de 25 kg de I.Meta en L2	NORM(1,0.1)	no	si
Y210	Tiempo de ensacado de un Big bag de 1000 kg de I. Meta en L2	CONS(1)	si	si

Fuente: Propia

A continuación se muestran las gráficas resultantes de la utilización del Input Analyzer en el software Arena para cuatro variables, como ejemplo, siendo 2 de ellas del Ácido Bórico y otras dos del Inkabor Meta. En cada imagen se observa la distribución de probabilidad sugerida por el Input Analyzer después de haber seleccionado aquella con menor error cuadrado. Así mismo, en la parte inferior se muestran los resultados de las pruebas de bondad de ajuste, tanto Chi cuadrado como Kolmogorov Smirnov. Es necesario tener en cuenta que la prueba de bondad de ajuste para datos discretos es solo Chi cuadrado, mientras que para datos continuos, se puede validar con cualquiera de las 2 pruebas.

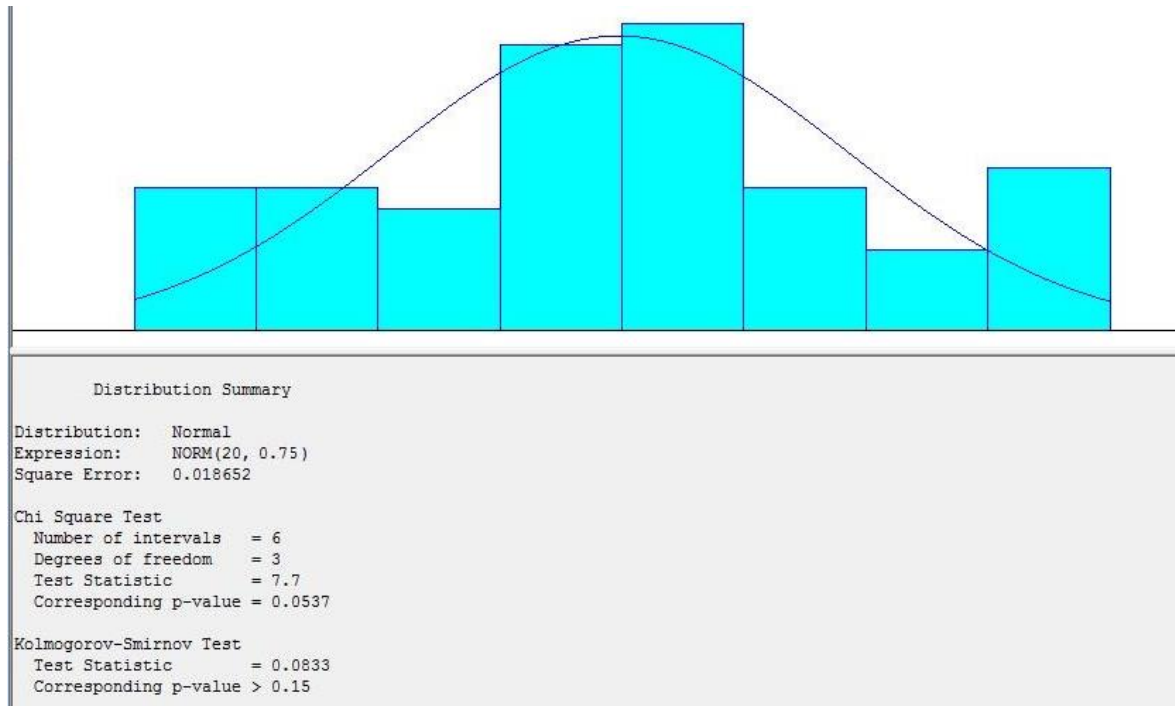
Para que la distribución sea validada, es necesario que el “p-value” de cada una de las pruebas de bondad de ajuste sea mayor al nivel de confianza seleccionado que en este caso toma un valor del 0.05 ya que el nivel de confianza elegido es 95%.

Gráfico 38: Input Analyzer para datos de la variable Y104



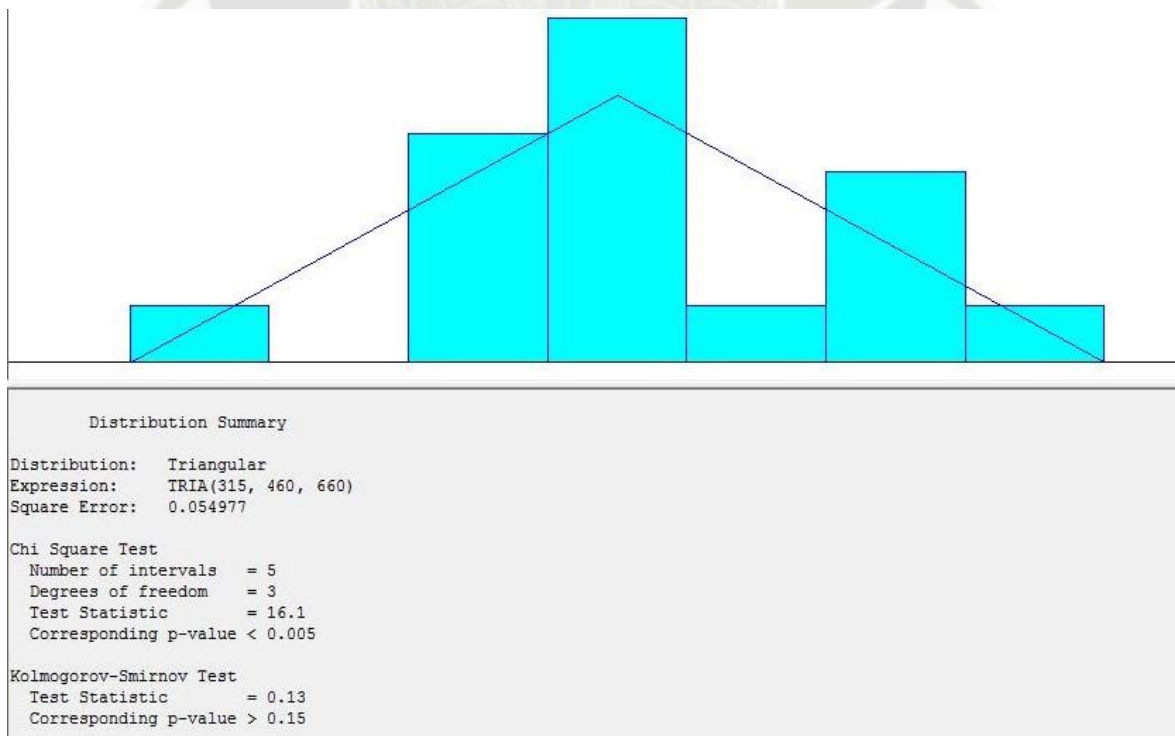
Fuente: Input Analyzer

Gráfico 39: Input Analyzer para datos de la variable Y107



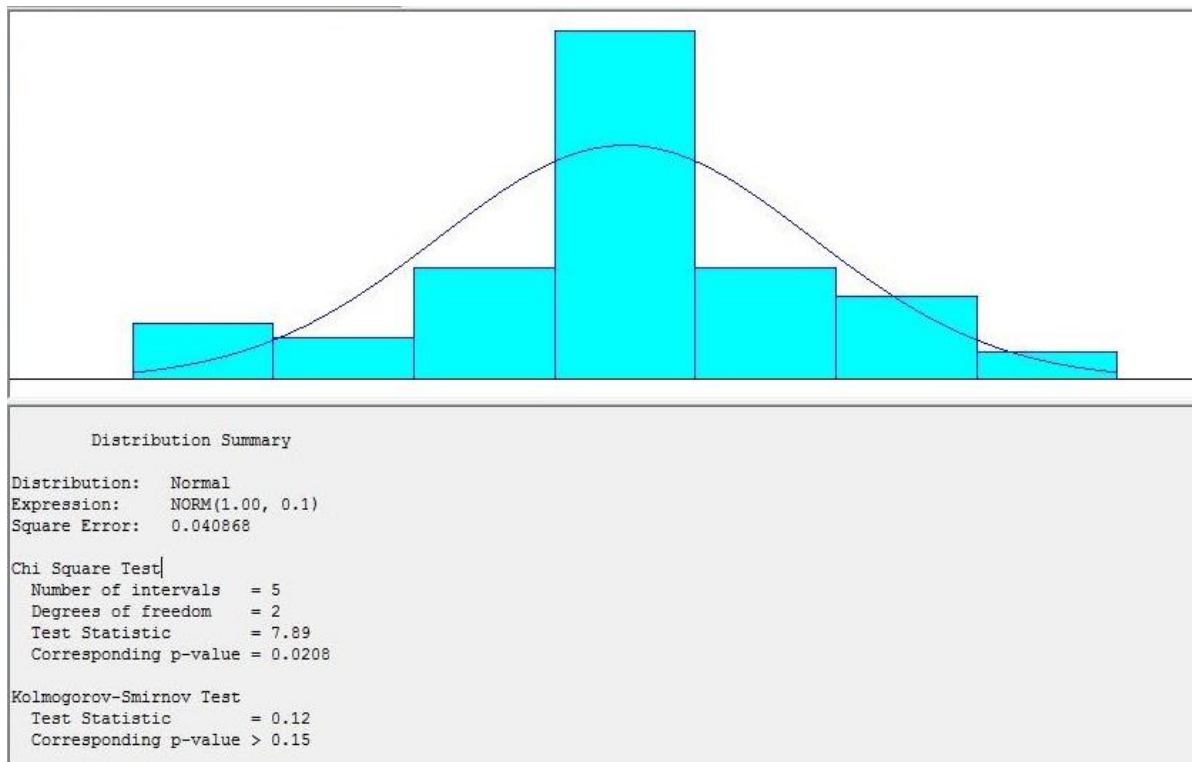
Fuente: Input Analyzer

Gráfico 40: Input Analyzer para datos de la variable Y202



Fuente: Input Analyzer

Gráfico 41: Input Analyzer para datos de la variable Y209



Fuente: Input Analyzer

4.2.3. Determinación de distribuciones de probabilidad a usar en la simulación

X1: Tiempo entre batches de Ácido Bórico CQ de Línea 2 – CONS(40)

X2: Tiempo entre batches de Inkabor Meta - TRIA(600,780,1500)

Ácido Bórico

Y101: Tiempo de reacción en reactor de L2 (12 m³) – CONS(40)

Y102: Tiempo de filtrado en Filtro Tambor L2 – CONS(40)

Y103: Tiempo de cargado cristalizador L2 (12 m³) – CONS(53)

Y104: Tiempo de análisis de la pulpa del cristalizador L2 (12 m³) – NORM(10,0.5)

Y105: Tiempo de enfriamiento – UNIF(240,270)

Y106: Tiempo de decantado – CONS(20)

Y107: Tiempo de descarga de Agua Madre – NORM(20, 0.75)

Y108: Tiempo de bombeo de la pulpa del cristizador de L2 al tanque S640 –
NORM(15,0.5)

Y109: Tiempo de centrifugado en L2 de 250 kg de AB – CONS(10)

Y110: Tiempo de secado en L2 de 25 kg de AB – NORM(1,0.1)

Y111: Tiempo de ensacado de un saco de 25 kg de AB en L2 – NORM(1,0.1)

Y112: Tiempo de cosido de un saco de 25 kg de AB en L2 - NORM(1,0.1)

Inkabor Meta

Y201: Tiempo de bombeo de AM a CR405 – UNIF(20,30)

Y202: Tiempo de preparación de un batch en CR405 L3 - TRIA (315,460,660)

Y203: Tiempo de bombeo de CR405 a CR402/403 – CONS(20)

Y204: Tiempo de enfriamiento y decantado en L3 - NORM (485, 100)

Y205: Tiempo regulación del ratio en L3 –UNIF(10,15)

Y206: Tiempo de sifoneo en L3 – CONS(30)

Y207: Tiempo bombeo del batch al S640 de L2 – UNIF(30,60)

Y208: Tiempo de centrifugado de 250 kg de pulpa en L2 – TRIA(8,9,12)

Y209: Tiempo de secado de 25 kg de I.Meta en L2 – NORM(1,0.1)

Y210: Tiempo de ensacado de 1000 kg de I.Meta en L2 – CONS(1)

CAPITULO 5: Modelo de simulación

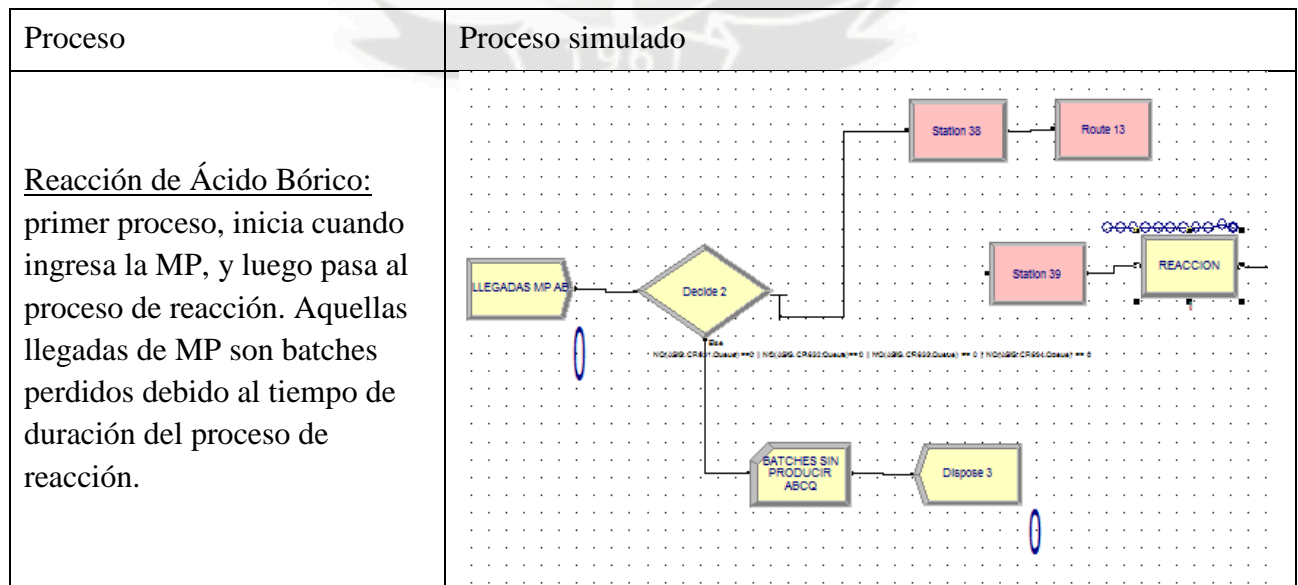
5.1. Procesos

Tabla 8: Lista de Basic Process del software Arena para el modelo simulado

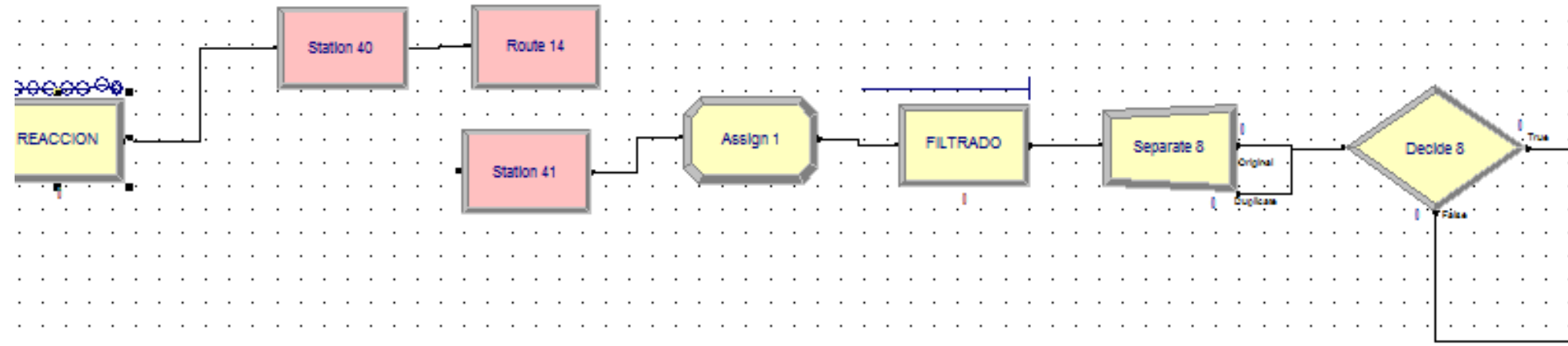
Process - Basic Process													
	Name	Type	Action	Priority	Resources	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Expression
1	REACCIÓN	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	2 rows	Constant	Minutes	Value Added	37	40	42	.2	1
2	FILTRADO	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	40	1.5	2.20	1
3	ANALISIS PULPA 1	Standard	Delay	Medium(2)	2 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	10	1.5	0.5	1
4	CRISTALIZACION L2.1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	240	1	270	.2	1
5	DECANTADO L2.1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.2	1
6	ANALISIS PULPA 2	Standard	Delay	Medium(2)	2 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	10	1.5	0.5	1
7	CRISTALIZACION L2.2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	240	1	270	.2	1
8	DECANTADO L2.2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.2	1
9	ANALISIS PULPA 3	Standard	Delay	Medium(2)	2 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	10	1.5	0.5	1
10	CRISTALIZACION L2.3	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	240	1	270	.2	1
11	DECANTADO L2.3	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.2	1
12	ANALISIS PULPA 4	Standard	Delay	Medium(2)	2 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	10	1.5	0.5	1
13	CRISTALIZACION L2.4	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	240	1	270	.2	1
14	DECANTADO L2.4	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.2	1
15	CENTRIFUGADO L2.1	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	5	10	1.5	.2	TIEMPO CENTRIFUGAD
16	SECADO	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	1	1.5	0.1	1
17	ENSACADO ABCQ	Standard	Delay	Medium(2)	2 rows	Normal	Minutes	Value Added	1	1	1.5	.1	1
18	COSIDO SACOS	Standard	Delay	Medium(2)	2 rows	Normal	Minutes	Value Added	0.12	1	0.17	.1	1
19	PREPARACION BATCH I META 1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	5	1	1.5	.2	TRIA (315,460,660)
20	ENFRIAMIENTO Y DECANTADO CR402	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	5	1	1.5	.2	NORM (485, 100)
21	ENFRIAMIENTO Y DECANTADO CR403	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	5	1	1.5	.2	NORM (485, 100)
22	REGULACION RATIO L3 1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	10	1	15	.2	1
23	REGULACION RATIO L3 2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Uniform	Minutes	Value Added	10	1	15	.2	1
24	SIFONEO 1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	30	1.5	.2	1
25	SIFONEO 2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Constant	Minutes	Value Added	5	30	1.5	.2	1
26	CENTRIFUGADO L2.2	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Expression	Minutes	Value Added	5	10	1.5	.2	TIEMPO CENTRIFUGA
27	DRENADO AM L2.1	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.75	1
28	DRENADO AM L2.2	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.75	1
29	DRENADO AM L2.3	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.75	1
30	DRENADO AM L2.4	Standard	Delay	Medium(2)	1 rows	Normal	Minutes	Value Added	5	20	1.5	.75	1
31	ENSACADO IM	Standard	Seize Delay Release	Medium(2)	1 rows	Constant	Seconds	Value Added	5	1	1.5	.2	1

Fuente: Propia

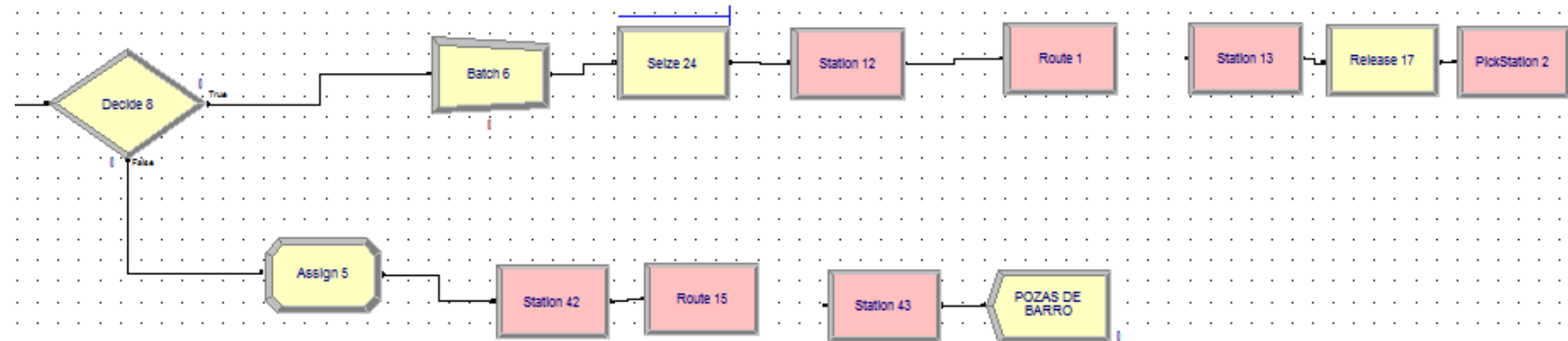
Tabla 9: Descripción de los procesos simulados en el Software Arena



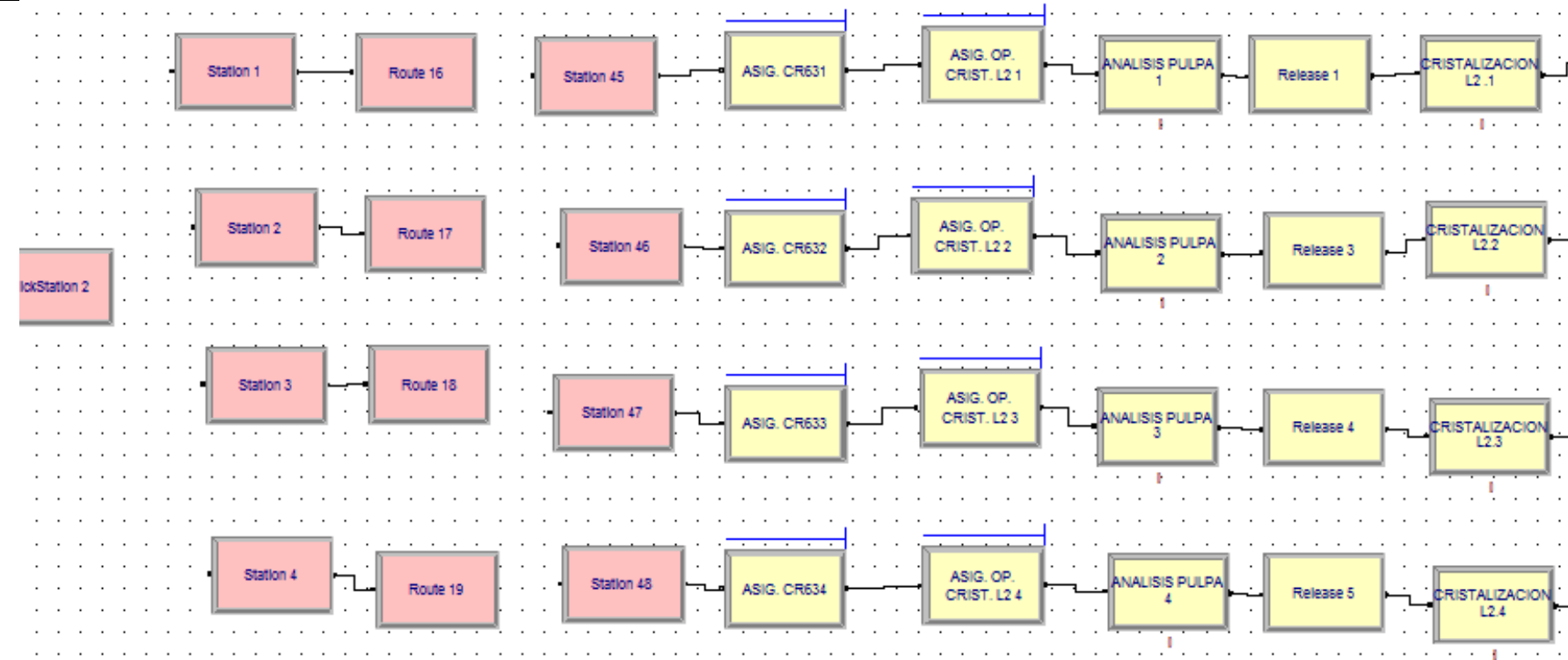
Filtración de Ácido Bórico: luego del proceso de reacción, la pulpa de Ácido Bórico es conducida a un filtro tambor en el cual se separa la solución de ácido bórico del residuo llamado también barro.



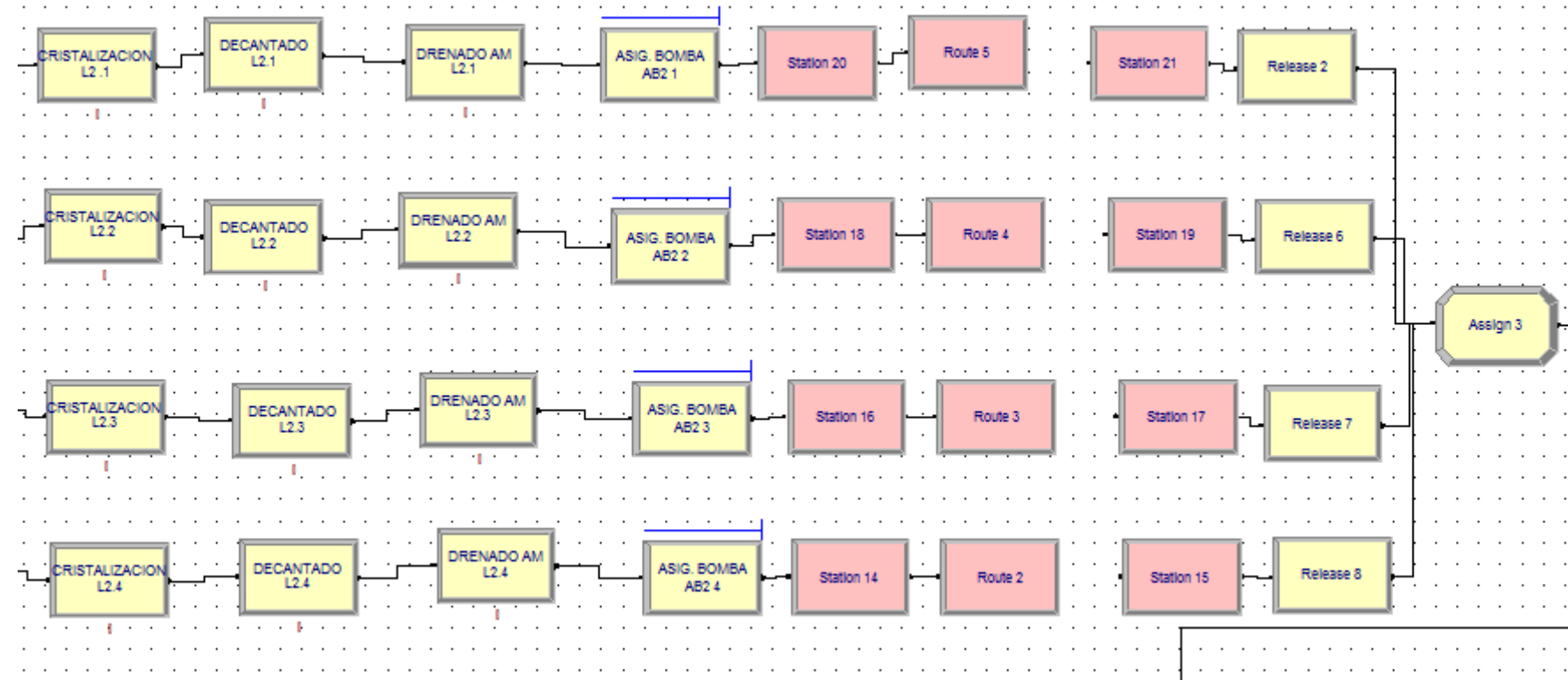
Separación de la pulpa y el barro: después de filtrado el barro es enviado a las pozas de barro, mientras que la solución filtrada es bombeada a la sección de cristalización de la línea 2.



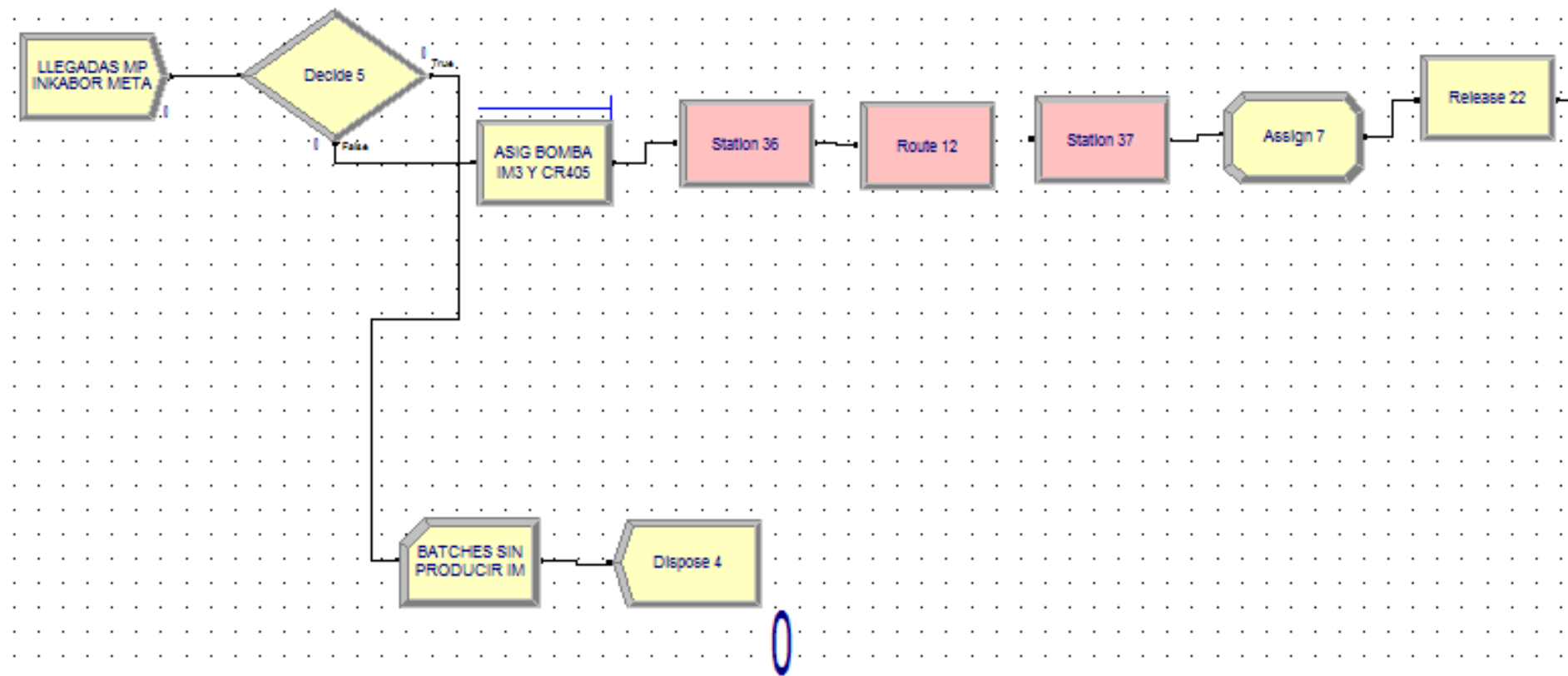
Cristalización del Ácido Bórico: luego del proceso de reacción, la solución filtrada es enviada a cualquiera de los 4 cristalizadores de la línea 2 que se encuentren libres para proceder a la formación de los cristales del Ácido Bórico a una temperatura, un pH y un tiempo determinado, con un análisis de la pulpa previo.



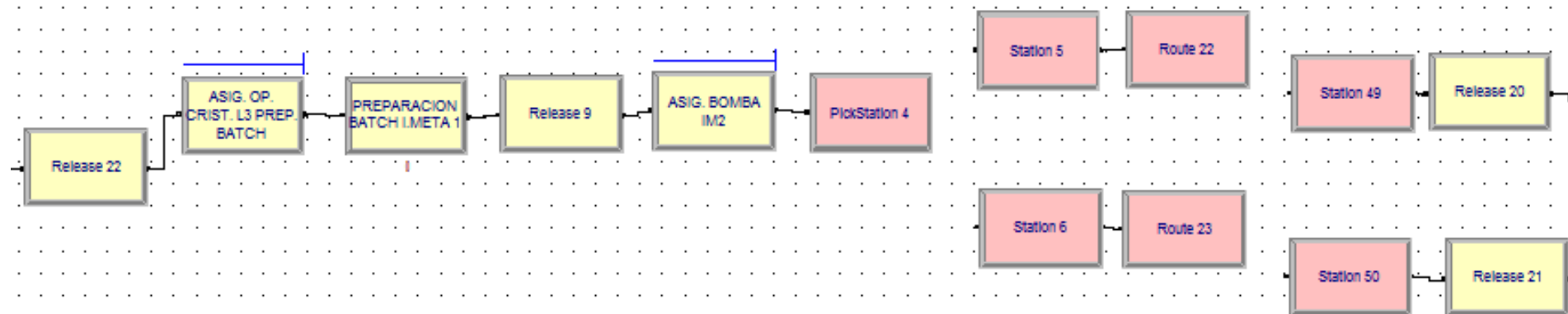
Cristalización del Ácido Bórico: una vez formados los cristales en los cristalizadores, la solución deja de ser pulpa y ya se convierte en Ácido Bórico CQ, el cual es decantado y drenado mediante bombas a la centrífuga de la línea 2.



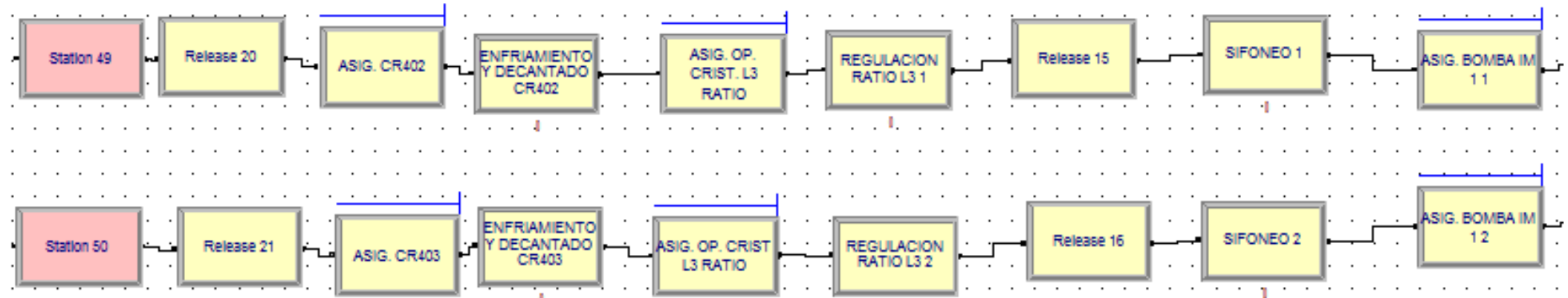
Llegadas de materia prima para producción de Inkabor Meta: la materia prima llega al sistema y el mismo discrimina si puede ser bombeada al CR405 mediante una bomba o si es que sería un batch perdido por lo que el CR405 está ocupado. Aca hay una restricción, ya que es el único tanque donde se prepara la pulpa y después debe ser bombeado a los cristalizadores.



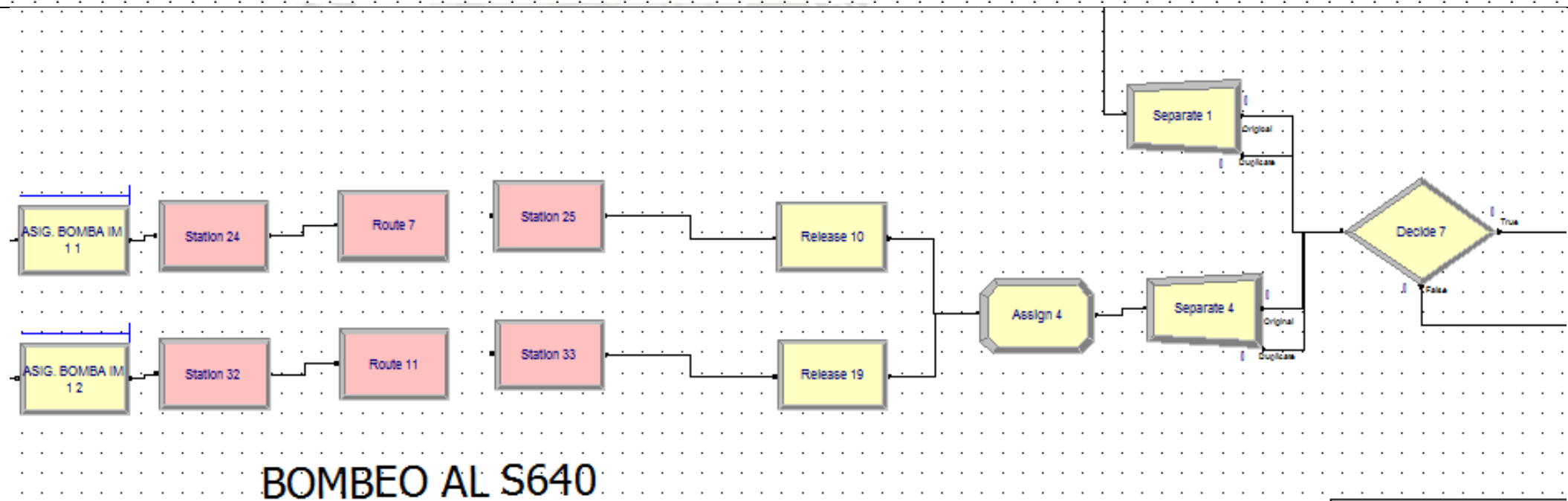
Preparación de batch de Inkabor Meta: en el CR405 se prepara el batch con agua madre, ácido bórico e hidróxido de sodio a una temperatura y un pH adecuados para luego ser bombeado a los cristalizadores.



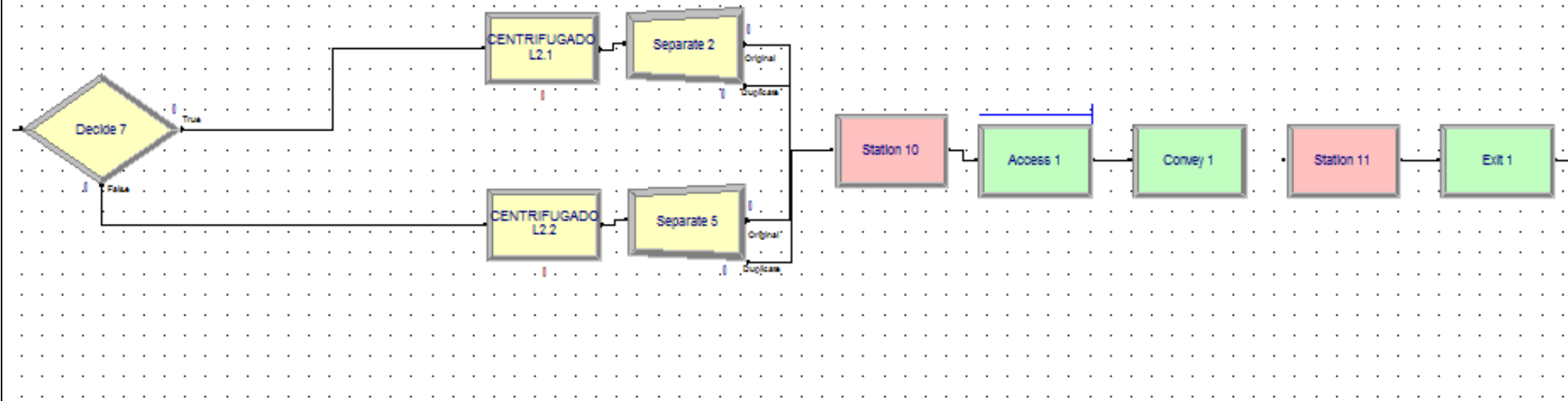
Cristalización del Inkabor Meta: la cristalización se da mediante enfriamiento y posterior decantado de la pulpa de Inkabor Meta. Así mismo el operario de esa línea debe regular el ratio de la pulpa para que el producto salga como debe salir. Finalmente es sifoneado y bombeado al tanque S640.



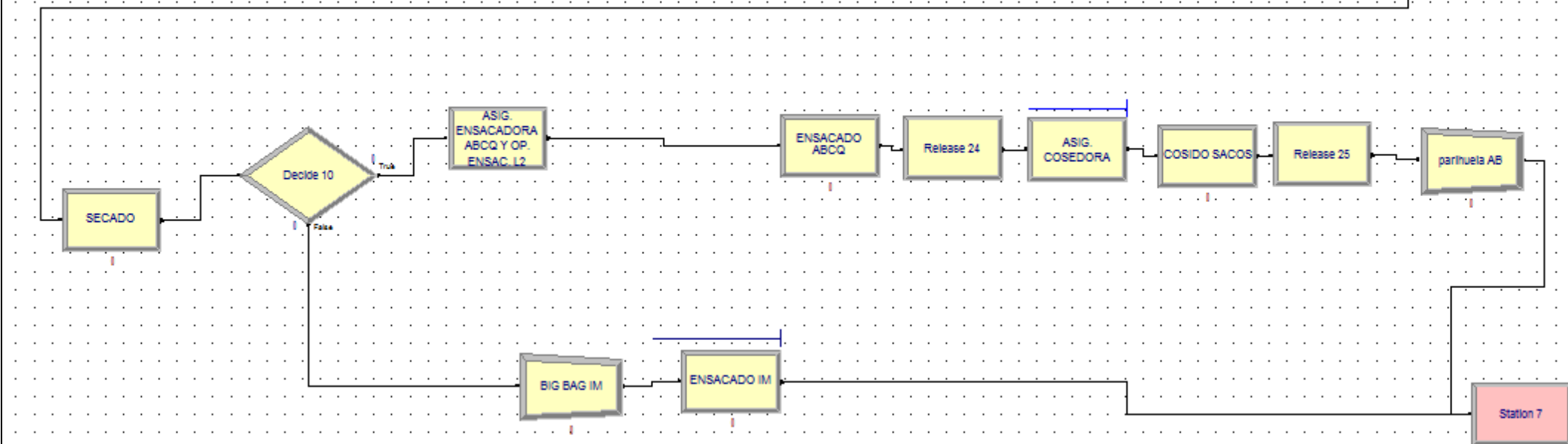
Bombeo del Inkabor Meta a tanque S640: el producto ya cristalizado es bombeado a este tanque en donde se juntan los batches conforme vayan saliendo de la línea 3 esperando a que se les dé pase en la centrífuga para poder ser centrifugados en la línea 2.



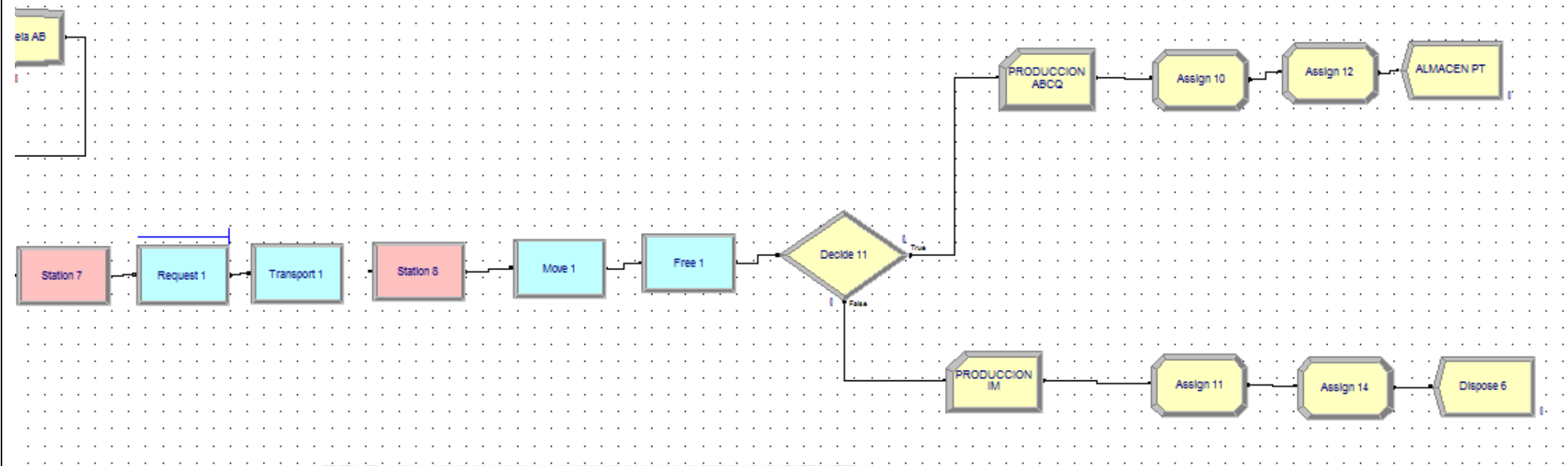
Centrifugación en Línea 2: se les da pase a cada uno de los productos dependiendo de la cantidad acumulada para ser centrifugada en el S640 del Inkabor Meta. Si es que el Inkabor Meta está siendo centrifugado el ácido bórico espera en sus respectivos cristalizadores a que la centrifuga sea liberada. Es en este punto donde se puede observar que hay la mayor espera y donde debería ser implementada una mejora. Acá observamos que se tiene una faja que transporta el producto centrifugado hacia el secador.



Secado en la Línea 2: posterior a la centrifugación se procede al secado de los productos en un secador flash, al cual llega la pulpa centrifugada mediante una faja transportadora. El producto es secado y posteriormente es ensacado en sacos o big bags dependiendo de la necesidad del cliente, los cuales son cosidos y colocados en una parihuela en la cual se juntan 60 sacos para que complete la 1.5 TM o solo 1 big bag de 1 TM.



Transporte de producto al almacén: una vez que el producto es colocado en una parihuela, esta es cargada por un monta carga y llevada al almacén de producto terminado.



Fuente: Propia

5.2. Entidades

Tabla 10: Lista de entidades del modelo en el Software Arena

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	PULPA AB	Picture.Blue Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
2	PULPA IM	Picture.Green Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
3	ACIDO BORICO CQ	Picture.Blue Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
4	INKABOR META	Picture.Green Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
5	MP AB	Picture.Blue Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
6	MP META	Picture.Green Ball	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
7	BARRO	Picture.Truck	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓
8	Entity 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	✓

Double-click here to add a new row.

Fuente: Propia

En cuanto a entidades para este estudio, se definieron las siguientes:

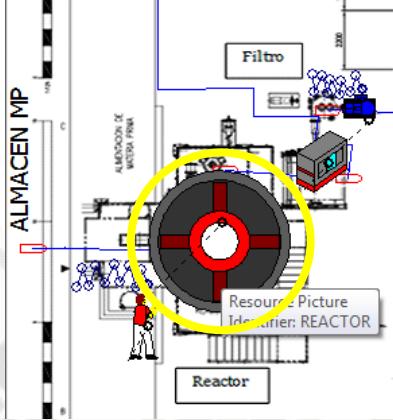

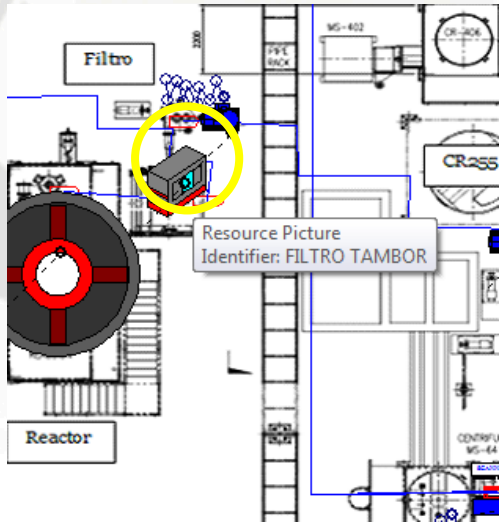

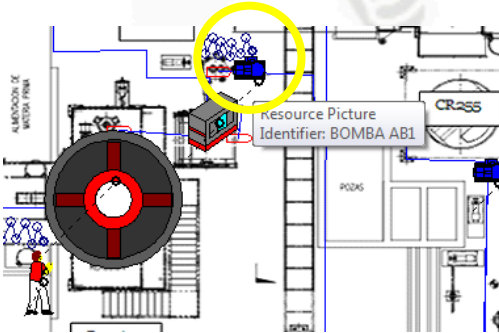

- MP de Ácido Bórico: identificado en el modelo simulado con una bola color azul. Utilizado para la materia prima para la producción del producto Ácido Bórico, el cual requiere mineral ulexita, Ácido Sulfúrico y Agua madre para poder iniciar su proceso de producción.
- MP de Inkabor Meta: identificado en el modelo simulado con una bola color verde. Utilizado para la materia prima para la producción del producto Inkabor Meta, la cual costa básicamente de agua madre con un ratio específico de boro y de sodio.
- Barro: identificado en el modelo simulado con un camión. Esta entidad es usada para identificar el relave que sale de la reacción y filtración del ácido bórico. Este relave o residuo es conducido por camiones desde la planta de producción a unas pozas de barro ubicadas cerca a esta misma.
- Pulpa de Ácido Bórico: identificado en el modelo simulado con una bola color azul. Luego de que la materia prima ha reaccionado, y ha pasado por el proceso de filtración se convierte en esta entidad que posteriormente será cristalizada y pasará a ser el producto en sí llamado Ácido Bórico.

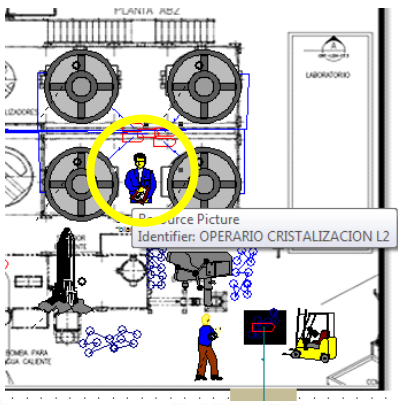

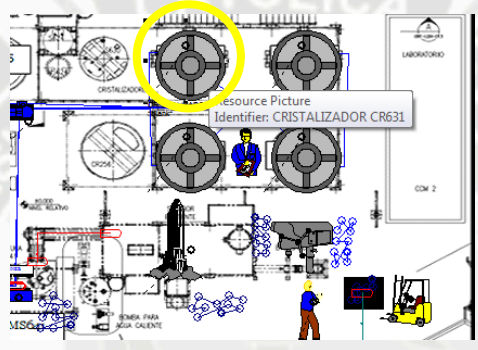

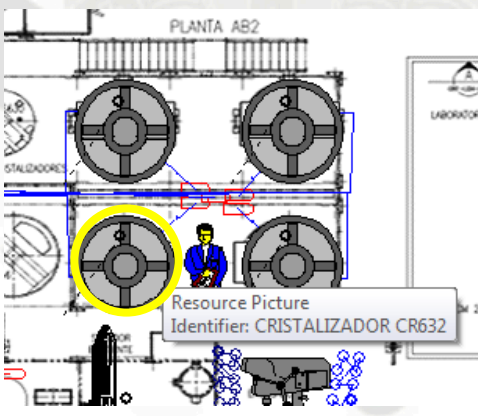

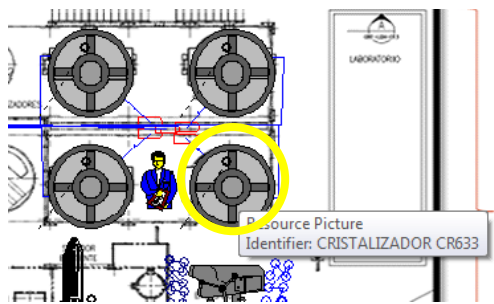

- Pulpa de Inkabor Meta: identificado en el modelo simulado con una bola color verde. Luego de que la materia prima ha sido preparada en el CR405, y ha pasado por el proceso de agitación en ese tanque se convierte en esta entidad que posteriormente será cristalizada y pasará a ser el producto en sí llamado Inkabor Meta.
- Ácido Bórico CQ: identificado en el modelo simulado con una bola color azul. Esta entidad representa el producto ya cristalizado que pasa por los procesos de centrifugación, secado y posterior ensacado para ser transportado al almacén de Producto terminado.
- Inkabor Meta: identificado en el modelo simulado con una bola color verde. Esta entidad representa el producto ya cristalizado que pasa por los procesos de centrifugación, secado y posterior ensacado para ser transportado al almacén de Producto terminado.

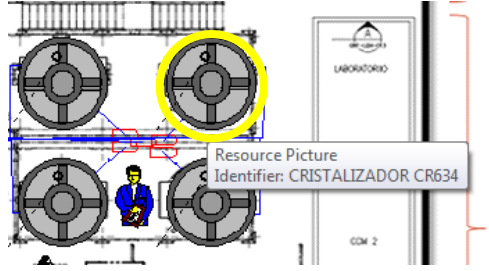

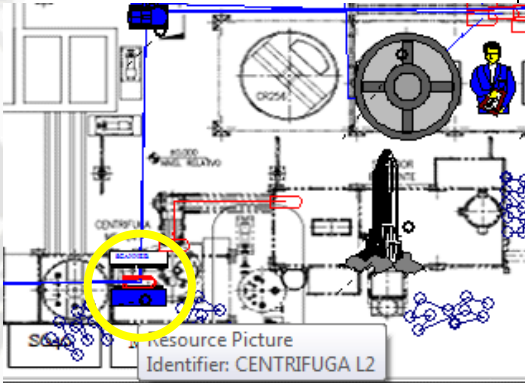

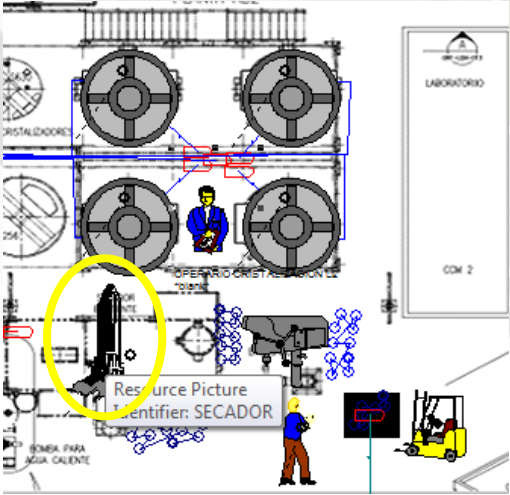

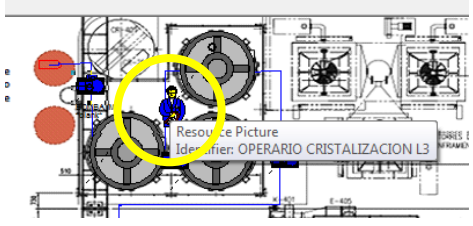

5.3. Recursos

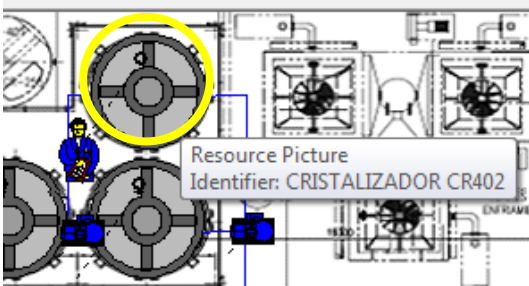


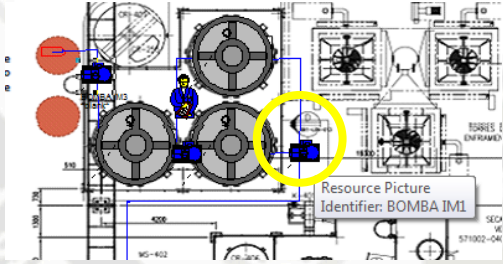


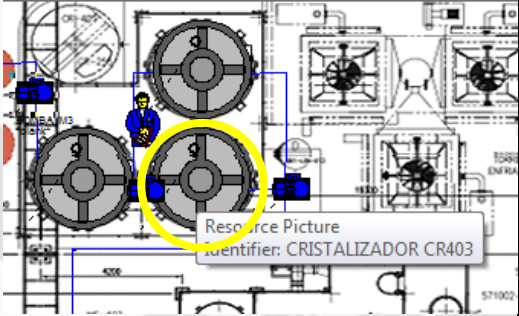


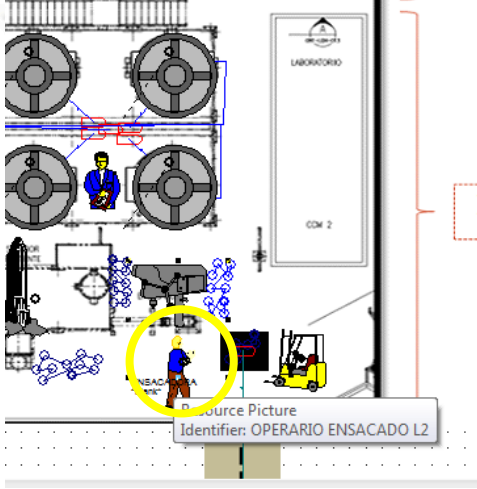


A continuación se muestra en la tabla todos los recursos del modelo siendo en total estos 22 dentro de equipos y personas. Se muestra así mismo su forma dentro del modelo simulado y cómo es que se muestran mientras corre el modelo de acuerdo a su estado; pudiendo ser este libre (idle) u ocupado (busy).

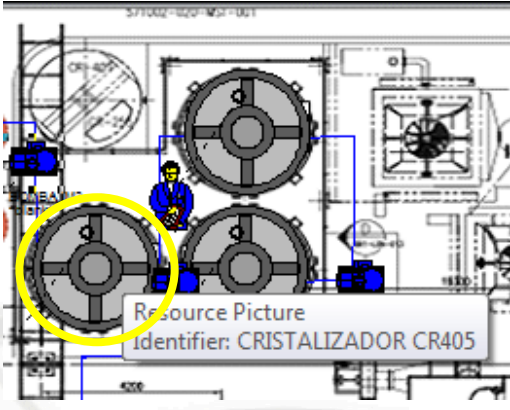

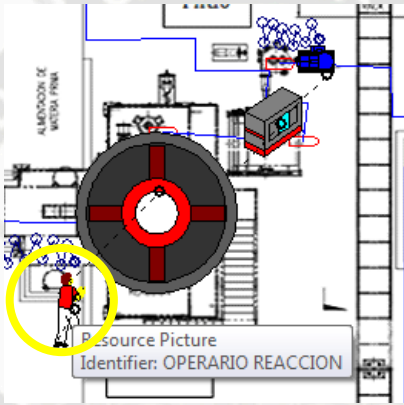

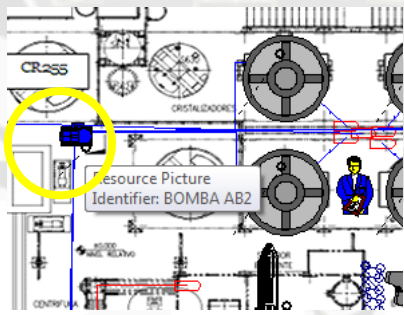

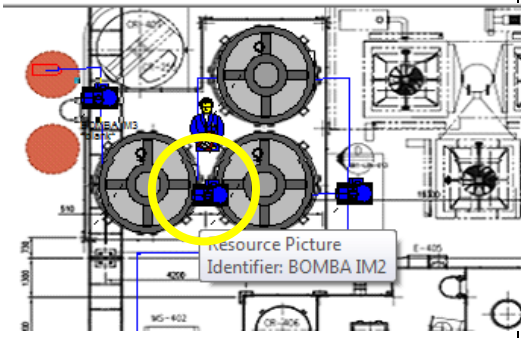

Tabla 11: Lista de recursos y su detalle dentro del modelo de simulación

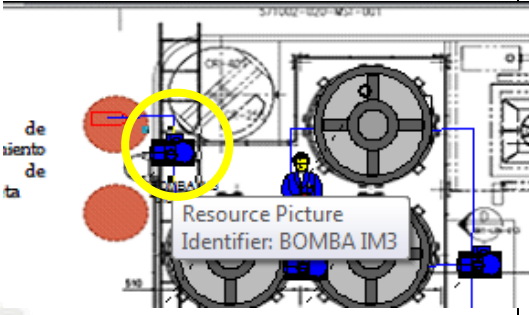


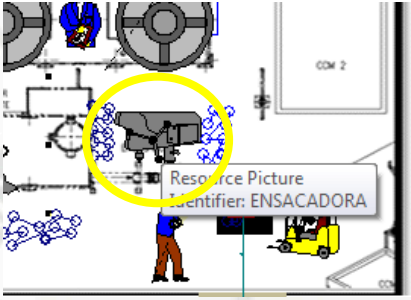


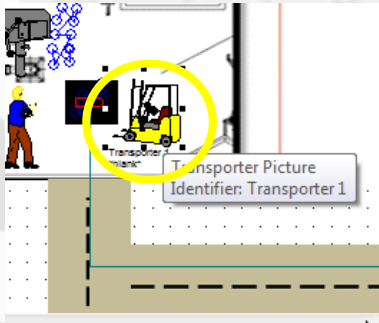


	Nombre del recurso y cantidad	Recurso en el modelo	Forma del recurso cuando se encuentra ocupado o libre
1	Reactor (1)		
2	Filtro tambor (1)		
3	Bomba AB1 (1)		

4	Operario Cristalización L2 (1)		
5	Cristalizador CR631 (1)		
6	Cristalizador CR632 (1)		
7	Cristalizador CR633 (1)		

8	Cristalizador CR634 (1)	 <p>Resource Picture Identifier: CRISTALIZADOR CR634</p>	 <p>Idle</p> <p>Busy</p>
9	Centrifuga L2 (1)	 <p>Resource Picture Identifier: CENTRIFUGA L2</p>	 <p>Idle</p> <p>Busy</p>
10	Secador (1)	 <p>Resource Picture Identifier: SECADOR</p>	 <p>Idle</p> <p>Busy</p>
11	Operario Cristalización L3 (2)	 <p>Resource Picture Identifier: OPERARIO CRISTALIZACION L3</p>	 <p>Idle</p> <p>Busy</p>

12	Cristalizador CR402 (1)		 Idle  Busy
13	Bomba IM1 (1)		 Idle  Busy
14	Cristalizador CR403 (1)		 Idle  Busy
15	Operario ensacado L2 (1)		 Idle  Busy

16	Cristalizador CR405 (1)		
17	Operario Reacción (1)		
18	Bomba AB2 (1)		
19	Bomba IM2 (1)		

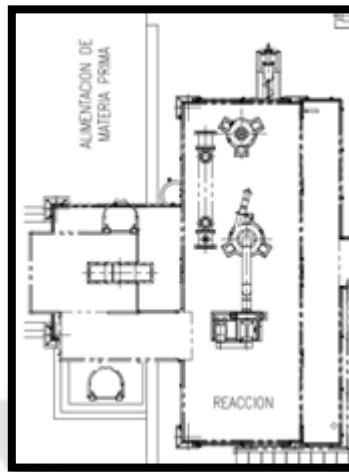
20	Bomba IM3 (1)		 Idle  Busy
21	Ensacadora (1)		 Idle  Busy
22	Transporter (1)		 Idle  Busy

Fuente: Propia

5.4. Supuestos

- Si es que los cristalizadores están ocupados la materia prima no ingresa, y el tiempo que se demora desde que el cristalizador se libera hasta que entre la materia prima y pase por el reactor y el filtro, ese tiempo se utiliza para limpiar el cristalizador y que pueda entrar el siguiente batch.
- El reactor de línea 2 tiene una capacidad de 12 m³.

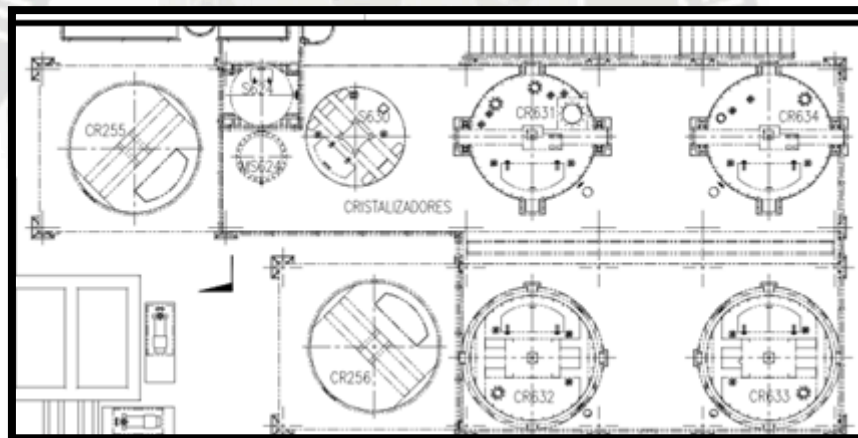
Gráfico 42: Reactor de la línea 2



Fuente: Inkabor

- Los cristalizadores de línea 2 tienen una capacidad de 14 m³.

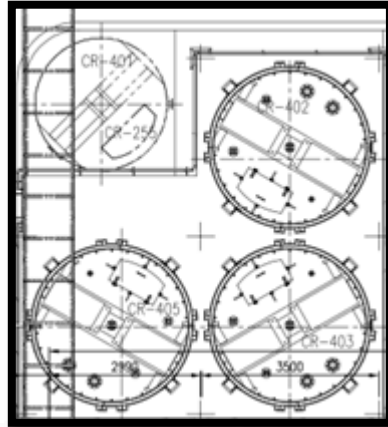
Gráfico 43: Cristalizadores de la Línea 2



Fuente: Inkabor

- Los cristalizadores de la línea 3 tienen una capacidad de 20 m³.

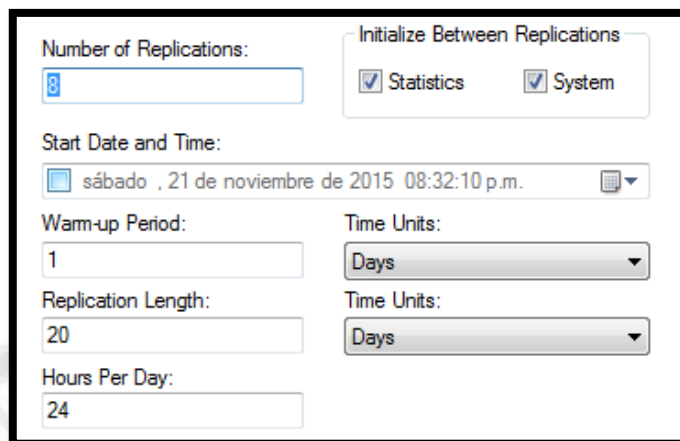
Gráfico 44: Cristalizadores de la Línea 3



Fuente: Inkabor

- Un cristalizador de ácido bórico de 14 m³ da 1250 kg de ácido bórico granular.
- Un cristalizador de Inkabor meta de 20 m³ da como producción 5750 kg de Inkabor meta granular.
- Cada batch de centrifugado en la Línea 2 es de 250 kg.
- Un saco de Inkabor meta o de ácido bórico tiene 25 kg.
- La línea 2 y la línea 3 están ubicadas una al lado de la otra.
- Se cuenta con un solo montacarga para distribuir las parihuelas del Inkabor meta o del Ácido bórico, una parihuela de Inkabor meta o de ácido bórico pesa 1.5 toneladas lo que equivale a 60 sacos de 25 kg cada uno.
- La demanda de ambos productos está asegurada para el futuro.
- Debido que el modelo es un modelo no terminal pero que tiene parada de 1 día por mantenimiento cada 20 días y una parada anual de 10 días por mantenimiento general, se ha forzado el modelo para un Run Setup de:

Gráfico 45: Run Set up del modelo



Number of Replications:
8

Initialize Between Replications
☒ Statistics ☒ System

Start Date and Time:
sábado , 21 de noviembre de 2015 08:32:10 p.m.

Warm-up Period:
1

Time Units:
Days

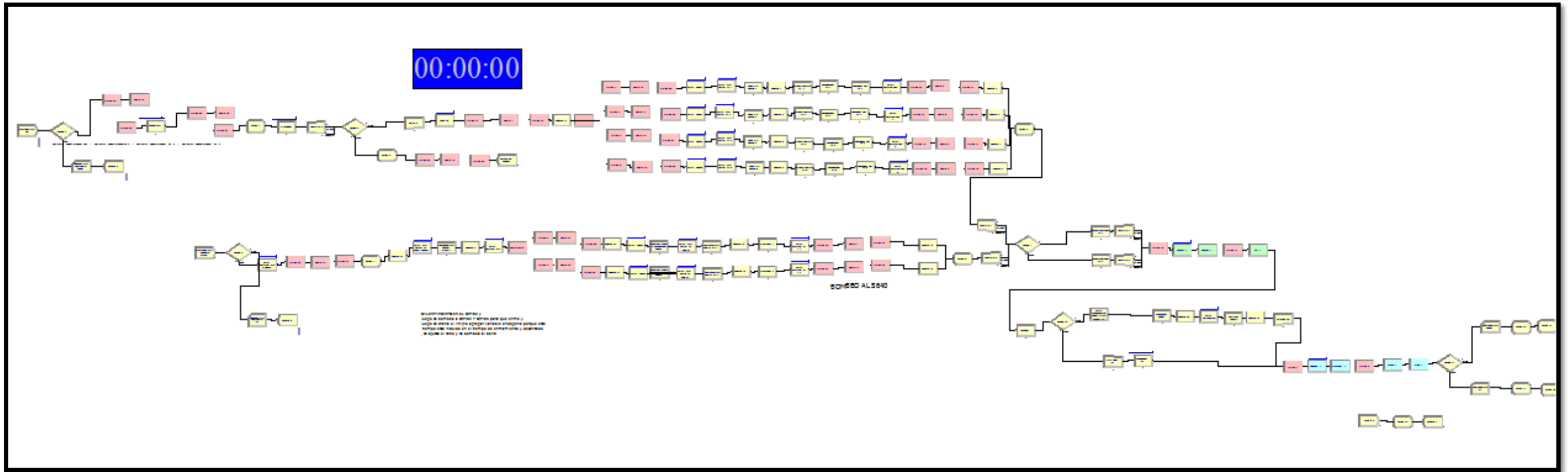
Replication Length:
20

Time Units:
Days

Hours Per Day:
24

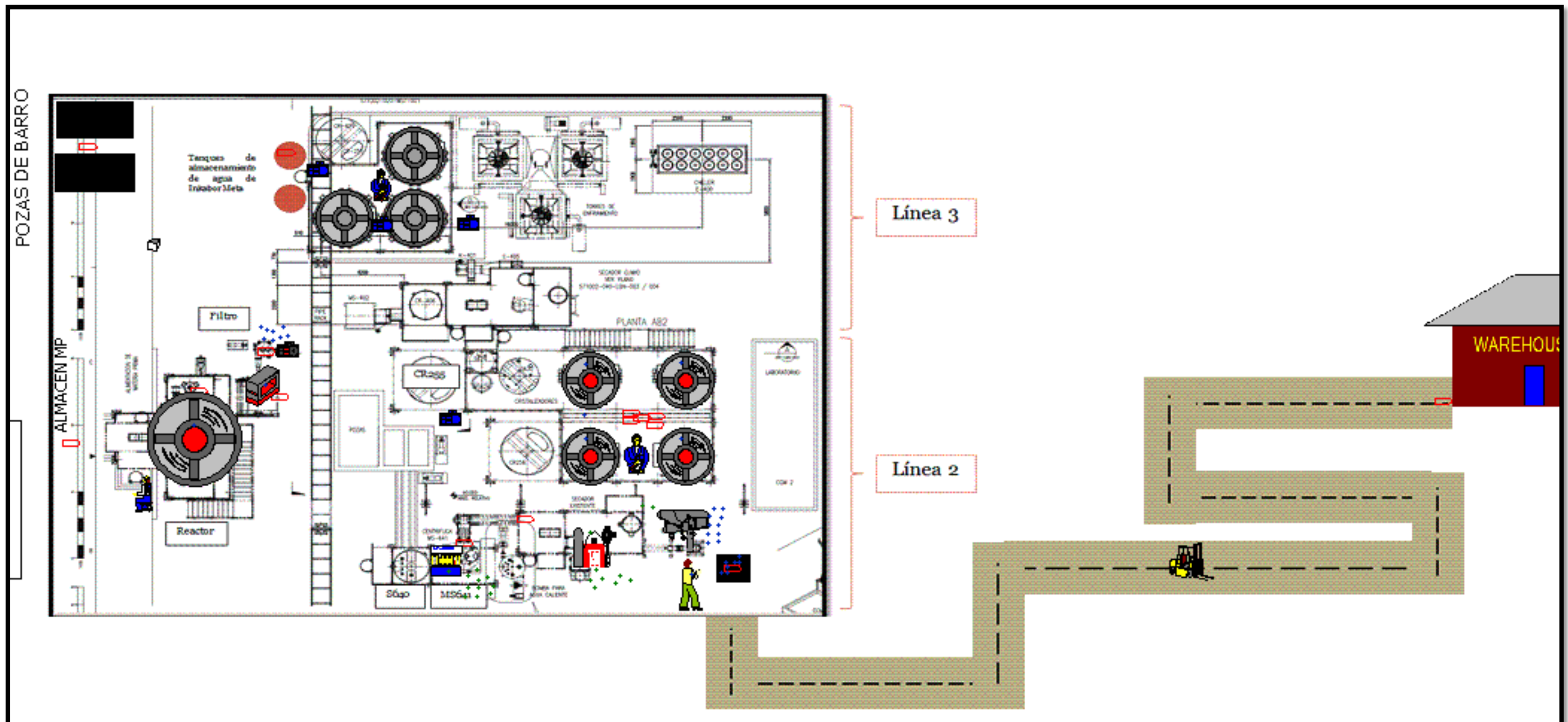
Fuente: Propia

Gráfico 46: Modelo Simulado en Software Arena



Fuente: Propia

Gráfico 47: Proceso de producción simulado en software Arena



Fuente: Propia

CAPITULO 6: Validación y análisis de resultados, optimización del modelo

6.1. Validación y Análisis de resultados

Los indicadores seleccionados para validar el modelo son los siguientes:

Tabla 12: Indicadores seleccionados para validación del modelo

INDICADORES	MODELO INICIAL					
	Average	Half-width	% H	Minimum	Maximum #	Rep
PROD.IM	163.75	2.9141	1.78%	156	170	8
PROD.ABCQ	227.87	0.3009	0.13%	227	228	8
UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	17779	1251.5677	7.04%	15061	19307	8
FILTRO TAMBOR.ScheduledUtilization	86.66%	0.47%	0.54%	85.67%	87.28%	8
CRISTALIZADOR CR402.ScheduledUtilization	57.22%	2.58%	4.51%	51.79%	60.53%	8
COSEDORA.ScheduledUtilization	49.95%	1.41%	2.82%	44.99%	50.00%	8
CRISTALIZADOR CR405.ScheduledUtilization	53.04%	1.35%	2.55%	51.36%	56.33%	8
ENSACADORA.ScheduledUtilization	49.99%	1.41%	2.82%	44.99%	50.07%	8
SECADOR.ScheduledUtilization	86.22%	0.54%	0.63%	84.90%	86.96%	8
CRISTALIZADOR CR631.ScheduledUtilization	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	8
CRISTALIZADOR CR632.ScheduledUtilization	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	8
CRISTALIZADOR CR633.ScheduledUtilization	99.89%	0.56%	0.56%	97.97%	100.00%	8
CRISTALIZADOR CR634.ScheduledUtilization	98.40%	0.31%	0.32%	97.71%	99.10%	8
CENTRIFUGA L2.ScheduledUtilization	85.39%	0.41%	0.48%	84.17%	85.96%	8
REACTOR.ScheduledUtilization	86.64%	0.41%	0.47%	85.67%	87.39%	8

Fuente: Propia

El más importante de todos los indicadores para ser validado es la producción en TM/día de los productos.

- Ácido Bórico: 227.87 entidades, cada una de 1.5 TM, lo que hace en un periodo de 20 días un total de 17.09 TM/día, de acuerdo a la simulación, lo cual es totalmente coherente con la realidad, ya que la producción oscila entre 17 y 18 TM/día en la realidad.
- Inkabor Meta: 163.75 entidades, cada una de 1 TM, lo que hace en un periodo de 20 días un total de 8.19 TM/día, de acuerdo a la simulación, lo cual es totalmente coherente con la realidad, ya que la producción oscila entre 7.5 y 8.5 TM/día en la realidad.

- En total entre ambos productos, tendríamos 25.3 TM/día, lo cual se ajusta perfectamente a la realidad, en donde la producción oscila entre 23 y 26 TM/día.

Por otro lado tenemos los indicadores de utilización de los cristalizadores de la línea 2, los que son CR 631, 632, 633, 634. En este proceso podemos identificar que los indicadores coinciden con la realidad, ya que actualmente los cristalizadores están ocupados todo el tiempo y no se tiene tiempo ocioso.

En la tabla que se muestra a continuación, podemos ver el proceso de validación de los 15 indicadores seleccionados como principales. Se seleccionaron como 8 réplicas, las réplicas principales para calcular el nuevo número de réplicas y se aplicaron todas las fórmulas considerando errores permitidos para cada uno de los indicadores. Posterior a la aplicación de todas las fórmulas para la validación se obtuvo que el número mayor de réplicas estaba calculado en 8, lo cual coincidía con el número inicial de réplicas seleccionado. A continuación se procedió a la validación del modelo comparando que los errores obtenidos debían ser menores que los errores permitidos, tal como se muestra en la tabla de la página siguiente, obteniendo así la validación de los 15 indicadores del modelo.

Tabla 13: Proceso de Validación del modelo

n	PROD.IM	PROD.ABCQ	UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	FILTRO TAMBOR.Sched edUtilization	CRISTALIZADOR CR402.Sched edUtilization	COSEDORA.Sched edUtilization	CRISTALIZADOR CR405.Sched edUtilization	ENSACADORA.Sched edUtilization	SECADOR.Sched edUtilization	CRISTALIZADOR CR631.Sched edUtilization	CRISTALIZADOR CR632.Sched edUtilization	CRISTALIZADOR CR633.Sched edUtilization	CRISTALIZADOR CR634.Sched edUtilization	CENTRIFUGA L2.Sched edUtilization	REACTOR.Sched edUtilization
1	160.00	227.87	17779.00	86.66%	57.22%	49.95%	53.04%	49.99%	86.22%	100.00%	100.00%	100.00%	99.89%	98.40%	85.39%
2	163.75	227.00	15061.00	85.67%	51.79%	44.99%	51.36%	44.99%	84.90%	100.00%	100.00%	97.97%	97.71%	84.17%	85.67%
3	165.00	228.00	19307.00	87.28%	60.53%	50.00%	56.33%	50.07%	86.96%	100.00%	100.00%	100.00%	99.10%	85.96%	87.39%
4	168.50	227.50	19000.00	85.99%	52.00%	50.00%	52.50%	49.90%	86.00%	100.00%	100.00%	100.00%	98.70%	85.10%	86.61%
5	158.30	227.35	15500.00	86.00%	58.00%	49.90%	54.50%	49.95%	86.80%	100.00%	100.00%	100.00%	98.50%	85.30%	86.10%
6	161.30	227.89	16000.00	87.10%	56.00%	49.92%	53.06%	49.91%	86.20%	100.00%	100.00%	99.95%	98.45%	85.50%	86.90%
7	168.10	227.70	16551.00	86.40%	59.80%	49.98%	55.50%	50.02%	86.90%	100.00%	100.00%	99.97%	98.35%	85.39%	86.30%
8	164.20	227.10	17112.00	85.97%	57.00%	49.95%	52.50%	50.01%	86.60%	100.00%	100.00%	99.90%	98.39%	85.41%	86.65%
E[X]	163.6438	227.5513	17038.7500	0.8638	0.5654	0.4934	0.5360	0.4935	0.8632	1.0000	1.0000	0.9971	0.9845	0.8528	0.8653
S2	13.2753	0.1415	2448706.2143	0.0000	0.0010	0.0003	0.0003	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
S	3.6435	0.3762	1564.8342	0.0058	0.0322	0.0176	0.0169	0.0177	0.0068	0.0000	0.0000	0.0070	0.0039	0.0051	0.0052
n	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
T1-α/2,n-1	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622	2.2622
=T1-α/2,n-1(E[X]/Raiz(n))	2.9141	0.3009	1251.5677	0.0047	0.0258	0.0141	0.0135	0.0141	0.0054	0.0000	0.0000	0.0056	0.0031	0.0041	0.0041
e=h/E[X]	1.78%	0.13%	7.35%	0.54%	4.56%	2.85%	2.52%	2.86%	0.63%	0.00%	0.00%	0.57%	0.31%	0.48%	0.48%
e*	2.0%	0.2%	10.0%	0.7%	6.0%	4.0%	3.0%	3.5%	1.0%	0.1%	0.1%	1.0%	0.4%	0.6%	0.7%
h*=e*E[X]	3.2729	0.4551	1703.8750	0.0060	0.0339	0.0197	0.0161	0.0173	0.0086	0.0010	0.0010	0.0100	0.0039	0.0051	0.0061
n*=[n(h/h*)2]	7.9279	4.3702	5.3955	5.9261	5.7781	5.0716	7.0415	6.6816	3.9210	0.0000	0.0000	3.1941	6.1611	6.3208	4.6869
Número de réplicas	8	5	6	6	6	6	8	7	4	1	1	4	7	7	5

Fuente: Propia

Tabla 14: Validación del modelo en base a 8 réplicas

Número	8	réplicas			
Indicador	E[X]	h	e	e*	e<e*
1	163.6438	2.9141	1.78%	2.0%	Si
2	227.5513	0.3009	0.13%	0.2%	Si
3	\$ 17,038.75	1251.5677	7.35%	10.0%	Si
4	86.38%	0.0047	0.54%	0.7%	Si
5	56.54%	0.0258	4.56%	6.0%	Si
6	49.34%	0.0141	2.85%	4.0%	Si
7	53.60%	0.0135	2.52%	3.0%	Si
8	49.35%	0.0141	2.86%	3.5%	Si
9	86.32%	0.0054	0.63%	1.0%	Si
10	100.00%	0.0000	0.00%	0.1%	Si
11	100.00%	0.0000	0.00%	0.1%	Si
12	99.71%	0.0056	0.57%	1.0%	Si
13	98.45%	0.0031	0.31%	0.4%	Si
14	85.28%	0.0041	0.48%	0.6%	Si
15	86.53%	0.0041	0.48%	0.7%	Si

Fuente: Propia

6.2. Propuestas de mejora utilizando el OptQuest

Se proponen 2 optimizaciones, las cuales se detallan a continuación:

6.2.1. Optimización 1

Para la generación de la primera optimización utilizando la herramienta OptQuest, se han seleccionado los siguientes recursos de control, restricciones y objetivo que se muestran a continuación:

a) Recursos de control

En cuanto a los recursos de control para la primera optimización se han seleccionado la centrifuga, los cristalizadores y el secador de la línea 2, de acuerdo a lo observado en el modelo, en donde se acumulaban más entidades en espera. Estos recursos de control se seleccionan para darle una directriz al Optquest para que dirija las variaciones o mejoras en base a estos recursos.

Tabla 15: Recursos de control para Optimización propuesta 1

Controls Resources								
Resources Summary								
Included	Control /	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
<input type="checkbox"/>	BOMBA AB1	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA AB2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM1	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM3	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CENTRIFUGA L2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	COSEDORA	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR402	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR403	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR405	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR631	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR632	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR633	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR634	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input type="checkbox"/>	ENSACADORA	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	FILTRO TAMBOR	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO CRISTALIZACION L2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO CRISTALIZACION L3	Resource	Discrete	1	2	3	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO ENSACADO L2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO REACCION	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	REACTOR	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	SECADOR	Resource	Discrete	1	1	3	1	

Fuente: OptQuest

b) Restricciones

En cuanto a restricciones se ha indicado lo siguiente.

- El número de cristalizadores no debe exceder de 6 unidades.
- La utilización de todos los cristalizadores de la línea 2 debe ser mayor o igual a 85%, con el fin de no reducir la utilización de los equipos mediante la optimización que proponga el OptQuest.
- Y como restricción más importante se indica que la utilidad debe ser mayor a la utilidad promedio del modelo actual.

Tabla 16: Restricciones seleccionadas para la Optimización propuesta 1

Constraints				
Constraints Summary				
Included	Name	Type	Description	Expression
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	Linear		[CRISTALIZADOR CR631]+[CRISTALIZADOR CR632]+[CRISTALIZADOR CR633]+[CRISTALIZADOR CR634] <= 6
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR633.ScheduledUtilization] >= 85%
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR634.ScheduledUtilization] >= 85%
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[UTILIDAD] >= 17779
<input checked="" type="checkbox"/>	U1	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR631.ScheduledUtilization] >= 85%
<input checked="" type="checkbox"/>	U2	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR632.ScheduledUtilization] >= 85%

Fuente: OptQuest

c) Objetivo

Así mismo en la herramienta OptQuest se debe ingresar una función objetivo que ayude a la herramienta a encontrar la mejor solución. Para ello se indica que la mejora debe reducir los tiempos de espera en cola de la cosedora, de la ensacadora de sacos, del operario de ensacado, del ensacado en big bag del Inkabor Meta, del tiempo de espera en el centrifugado y en el secado de la línea 2.

La función ingresada en la herramienta es la siguiente, reducción de los siguientes tiempos de espera:

[ASIG.COSEDORA.Queue.WaitingTime] + [ASIG.ENSACADORA ABCQ Y
OP.ENSAC.L2.Queue.WaitingTime] + [BIG BAG IM.Queue.WaitingTime] +
[CENTRIFUGADO L2.1.Queue.WaitingTime] + [CENTRIFUGADO
L2.2.Queue.WaitingTime] + [SECADO.Queue.WaitingTime]

d) Resultado

Como resultado de esta optimización utilizando la herramienta OptQuest, habiendo ingresado los recursos de control, las restricciones, y la función objetivo, se obtiene lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 17: Resultados de la Optimización propuesta 1 por la herramienta OptQuest

Best Solutions		Optimal solution found.								
Best Solutions										
Select	Simulation	Objective Value	Status	CENTRIFUGA L2	CRISTALIZADOR CR631	CRISTALIZADOR CR632	CRISTALIZADOR CR633	CRISTALIZADOR CR634	SECADOR	
<input checked="" type="checkbox"/>	65	2965.992432	Feasible	2	1	1	1	1	1	3
<input type="checkbox"/>	27	3039.257106	Feasible	1	1	1	1	1	1	3
<input type="checkbox"/>	28	3046.754755	Feasible	2	1	1	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>	1	3066.258397	Feasible	1	1	1	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>	79	4435.753842	Feasible	2	2	1	1	1	1	1
<input type="checkbox"/>	81	4492.941329	Feasible	2	2	1	1	1	1	3
<input type="checkbox"/>	56	4523.516430	Feasible	1	2	1	1	1	1	3

Fuente: OptQuest

La solución indica que para reducir mis tiempos de espera en cola de los procesos en la línea 2 desde donde cada uno de los productos se juntan para ser centrifugados, secados, y ensacados, es:

- Añadir una centrifuga (también significa que la capacidad del equipo debe ser incrementado al doble)
- Añadir 2 secadores (también significa que la capacidad del equipo debe ser incrementado al triple)

6.2.2. Optimización 2

Para la generación de la segunda optimización utilizando la herramienta OptQuest, se han seleccionado los siguientes recursos de control, restricciones y objetivo que se muestran a continuación:

a) Recursos de control

En cuanto a los recursos de control para la segunda optimización se han seleccionado la centrífuga, los cristalizadores y el secador de la línea 2, de acuerdo a lo observado en el modelo, en donde se acumulaban más entidades en espera. Estos recursos de control se seleccionan para darle una directriz al Optquest para que dirija las variaciones o mejoras en base a estos recursos.

Tabla 18: Recursos de control para Optimización propuesta 2

Controls Resources								
Resources Summary								
Included	Control /	Element Type	Type	Low Bound	Suggested Value	High Bound	Step	Description
<input type="checkbox"/>	BOMBA AB1	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA AB2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	BOMBA IM1	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM3	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CENTRIFUGA L2	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input type="checkbox"/>	COSEDORA	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR402	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR403	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR405	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR631	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR632	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR633	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR634	Resource	Discrete	1	1	3	1	
<input type="checkbox"/>	ENSACADORA	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	FILTRO TAMBOR	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO CRISTALIZACION L2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO CRISTALIZACION L3	Resource	Discrete	1	2	3	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO ENSACADO L2	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	OPERARIO REACCION	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input type="checkbox"/>	REACTOR	Resource	Discrete	1	1	2	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	SECADOR	Resource	Discrete	1	1	3	1	

Fuente: OptQuest

b) Restricciones

En cuanto a restricciones se ha indicado lo siguiente.

- El número de cristalizadores no debe exceder de 6 unidades.
- Y como restricción más importante se indica que la utilidad debe ser mayor a la utilidad máxima del modelo actual.

Tabla 19: Restricciones seleccionadas para la Optimización propuesta 2

Constraints				
Constraints Summary				
Included	Name	Type	Description	Expression
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	Linear		[CRISTALIZADOR CR631]+[CRISTALIZADOR CR632]+[CRISTALIZADOR CR633]+[CRISTALIZADOR CR634] <= 6
<input type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[CENTRIFUGA L2.ScheduledUtilization] >= 85%
<input type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR633.ScheduledUtilization] >= 85%
<input type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR634.ScheduledUtilization] >= 85%
<input type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[SECADOR.ScheduledUtilization] >= 75%
<input checked="" type="checkbox"/>	New Constraint	NonLinear		[UTILIDAD] >= 19400
<input type="checkbox"/>	U1	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR631.ScheduledUtilization] >= 85%
<input type="checkbox"/>	U2	NonLinear		[CRISTALIZADOR CR632.ScheduledUtilization] >= 85%

Fuente: OptQuest

c) Objetivo

Así mismo en la herramienta OptQuest se debe ingresar una función objetivo que ayude a la herramienta a encontrar la mejor solución. Para ello se indica que la mejora debe reducir los tiempos de espera en cola de la cosedora, de la ensacadora de sacos, del operario de ensacado, del ensacado en big bag del Inkabor Meta, del tiempo de espera en el centrifugado y en el secado de la línea 2.

La función ingresada en la herramienta es la siguiente, reducción de los siguientes tiempos de espera:

[ASIG.COSEDORA.Queue.WaitingTime] + [ASIG.ENSACADORA ABCQ Y
OP.ENSAC.L2.Queue.WaitingTime] + [BIG BAG IM.Queue.WaitingTime] +
[CENTRIFUGADO L2.1.Queue.WaitingTime] + [CENTRIFUGADO
L2.2.Queue.WaitingTime] + [SECADO.Queue.WaitingTime]

d) Resultado

Como resultado de esta optimización utilizando la herramienta OptQuest, habiendo ingresado los recursos de control, las restricciones, y la función objetivo, se obtiene lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 20: Resultados de la Optimización propuesta 2 por la herramienta OptQuest

Best Solutions

Optimal solution found.

Best Solutions									
Select	Simulation	Objective Value	Status	CENTRIFUGA L2	CRISTALIZADOR CR631	CRISTALIZADOR CR632	CRISTALIZADOR CR633	CRISTALIZADOR CR634	SECADOR
<input checked="" type="checkbox"/>	4	4351.232039	Feasible	3	1	1	2	2	3
<input type="checkbox"/>	9	4364.187854	Feasible	2	1	1	3	1	2
<input type="checkbox"/>	50	4364.187854	Feasible	2	1	1	2	1	2
<input type="checkbox"/>	123	4377.805547	Feasible	3	1	1	2	1	1
<input type="checkbox"/>	125	4377.805547	Feasible	3	1	1	3	1	1
<input type="checkbox"/>	8	4380.944896	Feasible	3	1	3	1	1	2
<input type="checkbox"/>	127	4380.944896	Feasible	3	1	2	1	1	2
<input type="checkbox"/>	48	4402.626903	Feasible	2	2	2	1	1	1
<input type="checkbox"/>	102	4416.002355	Feasible	2	1	1	2	1	1
<input type="checkbox"/>	104	4416.002355	Feasible	2	1	1	3	1	1

Fuente: OptQuest

La solución indica que para reducir mis tiempos de espera en cola de los procesos en la línea 2 desde donde cada uno de los productos se juntan para ser centrifugados, secados, y ensacados, es:

- Añadir 2 centrifugas (también significa que la capacidad del equipo debe ser incrementado al triple)

- Añadir 2 cristalizadores
- Añadir 2 secadores (también significa que la capacidad del equipo debe ser incrementado al triple)

6.3.Evaluación de las Optimizaciones

a) Modelo Actual vs. Optimización 1

Tabla 21: Comparación de indicadores del modelo actual vs. Optimización 1

INDICADORES	MODELO INICIAL						OPTIMIZACION 1 +1 CENTRIFUGA + 2 SECADORES				
	Average	Half-width	% H	Minimum	Maximum #	Rep	Average	Half-width	%	Minimum	Maximum #
PROD.IM	163.75	2.9141	1.78%	156	170	8	168.37	7.2473	4.30%	161	184
PROD.ABCQ	227.87	0.3009	0.13%	227	228	8	228	0	0.00%	228	228
BATCHES S.P.ABCQ	91.375	3.3427	3.66%	86	98	8	89.875	4.1312	4.60%	83	96
UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	17779	1251.5677	7.04%	15061	19307	8	19837	2797.4	14.10%	16991	25869
T.C.SECADO	8.8722	0.3923	4.42%	8.4383	9.9545	8	0.96488	0.01539	1.60%	0.9372	0.98678
T.C.CENTRIFUGADO L2.1	91.667	3.0736	3.35%	86.351	96.15	8	18.545	0.7534	4.06%	17.803	19.598
T.C.CENTRIFUGADO L2.2	128	2.7231	2.13%	122.91	133.34	8	55.578	10.375	18.67%	54.383	56.904
T.C.CR631	274.2	4.8392	1.76%	264.19	281.85	8	281.14	0.49245	0.18%	273.81	287.11
T.C.CR632	246.99	13.291	5.38%	220.15	262.92	8	251.66	3.7184	1.48%	236.35	272.45
T.C.CR633	226.65	18.725	8.26%	190.85	247.85	8	210.11	16.146	7.68%	164.46	242.26
T.C.CR634	110.65	14.843	13.41%	84.906	131.02	8	112.16	22.92	20.44%	73.986	136.7
T.C.ENSACADO IM	67.157	1.9124	2.85%	65.604	72.384	8	63.018	4.3322	6.87%	55.313	69.618
TIEMPO EN COLA 2 PRODUCTOS	3094.5	23.54	0.76%	3037.7	3118.8	8	2977.6	14.229	0.48%	2964.6	3011.8
FILTRO TAMBOR.ScheduledUtilization	86.66%	0.47%	0.54%	85.67%	87.28%	8	86.87%	0.60%	0.69%	85.97%	87.87%
CRISTALIZADOR CR402.ScheduledUtilization	57.22%	2.58%	4.51%	51.79%	60.53%	8	56.81%	3.79%	6.67%	50.98%	64.48%
COSEDORA.ScheduledUtilization	49.95%	1.41%	2.82%	44.99%	50.00%	8	50.01%	0.02%	0.04%	49.95%	50.04%
CRISTALIZADOR CR405.ScheduledUtilization	53.04%	1.35%	2.55%	51.36%	56.33%	8	54.00%	1.97%	3.64%	49.53%	56.76%
ENSACADORA.ScheduledUtilization	49.99%	1.41%	2.82%	44.99%	50.07%	8	50.00%	0.02%	0.04%	49.97%	50.06%
SECADOR.ScheduledUtilization	86.22%	0.54%	0.63%	84.90%	86.96%	8	28.90%	0.34%	1.18%	28.48%	29.62%
CRISTALIZADOR CR631.ScheduledUtilization	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
CRISTALIZADOR CR632.ScheduledUtilization	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
CRISTALIZADOR CR633.ScheduledUtilization	99.89%	0.56%	0.56%	97.97%	100.00%	8	99.92%	0.07%	0.07%	99.80%	100.00%
CRISTALIZADOR CR634.ScheduledUtilization	98.40%	0.31%	0.32%	97.71%	99.10%	8	98.21%	0.45%	0.46%	97.68%	99.15%
CENTRIFUGA L2.ScheduledUtilization	85.39%	0.41%	0.48%	84.17%	85.96%	8	42.93%	0.47%	1.08%	42.45%	43.95%
OPERARIO CRISTALIZACION L2.ScheduledUtiliz	12.46%	0.06%	0.45%	41.23%	12.54%	8	12.41%	0.03%	0.22%	12.37%	12.48%
OPERARIO CRISTALIZACION L3.ScheduledUtiliz	25.89%	0.69%	2.68%	25.02%	27.51%	8	26.33%	0.96%	3.65%	24.15%	27.69%
REACTOR.ScheduledUtilization	86.64%	0.41%	0.47%	85.67%	87.39%	8	86.87%	0.60%	0.69%	85.97%	87.87%
OPERARIO ENSACADO L2.ScheduledUtilization	99.93%	0.08%	0.08%	49.98%	100.00%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
OPERARIO REACCION.ScheduledUtilization	86.64%	0.49%	0.56%	85.67%	87.39%	8	86.87%	0.60%	0.69%	85.97%	87.87%

Fuente: Propia

Para esta optimización se ve que la función objetivo se cumple satisfactoriamente, así como las restricciones en las cuales se indica que los cristalizadores deben tener una utilización no menor a 85% y la utilidad debe ser mayor a la actual. Debido a que lo que buscamos es reducir los tiempos de espera es que la herramienta sugiere no incrementar cristalizadores y sólo aumentar una centrifuga para reducir las colas en este proceso y añadir 2 secadores más.

Como vemos la utilidad es superior al promedio del modelo actual y de la misma manera nos damos cuenta que la producción incrementa, por lo que se decide que ésta es la mejor opción para la optimización de las producciones de ambos productos.

b) Modelo Actual vs. Optimización 2

Tabla 22: Comparación de indicadores del modelo actual vs. Optimización 2

INDICADORES	MODELO INICIAL						OPTIMIZACION 2 +2 CENTRIFUGA +2 SECADORES+2 CRISTALIZADORES				
	Average	Half-width	% H	Minimum	Maximum #	Rep	Average	Half-width	%	Minimum	Maximum #
PROD.IM	163.75	2.9141	1.78%	156	170	8	165	8.5154	5.16%	144	173
PROD.ABCQ	227.87	0.3009	0.13%	227	228	8	228	0	0.00%	228	228
BATCHES S.P.ABCQ	91.375	3.3427	3.66%	86	98	8	0	0	-	0	0
UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	17779	1251.5677	7.04%	15061	19307	8	18535	3286.9	17.73%	10429	21623
T.C.SECADO	8.8722	0.3923	4.42%	8.4383	9.9545	8	2.3714	0.07062	2.98%	2.2325	2.5074
T.C.CENTRIFUGADO L2.1	91.667	3.0736	3.35%	86.351	96.15	8	8.1833	0.67144	8.21%	7.4682	9.2018
T.C.CENTRIFUGADO L2.2	128	2.7231	2.13%	122.91	133.34	8	34.256	12.307	35.93%	33.325	35.414
T.C.CR631	274.2	4.8392	1.76%	264.19	281.85	8	273.01	0.42708	0.16%	263.91	281.48
T.C.CR632	246.99	13.291	5.38%	220.15	262.92	8	250.11	4.4267	1.77%	219.36	268.35
T.C.CR633	226.65	18.725	8.26%	190.85	247.85	8	0	0	-	0	0
T.C.CR634	110.65	14.843	13.41%	84.906	131.02	8	0	0	-	0	0
T.C.ENSACADO IM	67.157	1.9124	2.85%	65.604	72.384	8	65.533	2.4523	3.74%	62.442	71.293
TIEMPO EN COLA 2 PRODUCTOS	3094.5	23.54	0.76%	3037.7	3118.8	8	4465.7	106.57	2.39%	4332.4	4739.8
FILTRO TAMBOR.ScheduledUtilization	86.66%	0.47%	0.54%	85.67%	87.28%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
CRISTALIZADOR CR402.ScheduledUtilization	57.22%	2.58%	4.51%	51.79%	60.53%	8	55.88%	3.54%	6.33%	50.38%	62.77%
COSEDORA.ScheduledUtilization	49.95%	1.41%	2.82%	44.99%	50.00%	8	50.00%	0.02%	0.04%	49.97%	50.04%
CRISTALIZADOR CR405.ScheduledUtilization	53.04%	1.35%	2.55%	51.36%	56.33%	8	53.78%	2.85%	5.31%	47.38%	57.53%
ENSACADORA.ScheduledUtilization	49.99%	1.41%	2.82%	44.99%	50.07%	8	50.01%	0.02%	0.04%	49.97%	50.04%
SECADOR.ScheduledUtilization	86.22%	0.54%	0.63%	84.90%	86.96%	8	31.97%	0.46%	1.43%	31.01%	32.78%
CRISTALIZADOR CR631.ScheduledUtilization	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
CRISTALIZADOR CR632.ScheduledUtilization	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
CRISTALIZADOR CR633.ScheduledUtilization	99.89%	0.56%	0.56%	97.97%	100.00%	8	80.31%	1.27%	1.58%	78.73%	83.21%
CRISTALIZADOR CR634.ScheduledUtilization	98.40%	0.31%	0.32%	97.71%	99.10%	8	50.10%	1.14%	2.27%	48.48%	52.14%
CENTRIFUGA L2.ScheduledUtilization	85.39%	0.41%	0.48%	84.17%	85.96%	8	31.67%	0.45%	1.42%	30.72%	32.44%
OPERARIO CRISTALIZACION L2.ScheduledUtiliz	12.46%	0.06%	0.45%	41.23%	12.54%	8	14.35%	0.10%	0.67%	14.22%	14.58%
OPERARIO CRISTALIZACION L3.ScheduledUtiliz	25.89%	0.69%	2.68%	25.02%	27.51%	8	26.22%	1.43%	5.43%	23.04%	28.10%
REACTOR.ScheduledUtilization	86.64%	0.41%	0.47%	85.67%	87.39%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
OPERARIO ENSACADO L2.ScheduledUtilization	99.93%	0.08%	0.08%	49.98%	100.00%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
OPERARIO REACCION.ScheduledUtilization	86.64%	0.49%	0.56%	85.67%	87.39%	8	100.00%	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Propia

Si evaluamos ambos modelos, podemos ver que en este caso la utilidad aumenta pero no aumenta de la manera en que aumenta la optimización 1. Lo que sucede en este modelo es que la producción aumenta, pero no en gran medida, ya que debido a que se aumentan 2 cristalizadores se incrementa la cantidad de entidades en el sistema en un 33% aproximadamente, lo que hace que hayan colas y por ende el tiempo de espera en la función objetivo se reduce, pero no se reduce como en la optimización 1, donde se

mantiene el número de cristalizadores pero se incrementa los recursos de centrifugado y secado.

Lo más importante de esta optimización es que no hay pérdidas de oportunidad, ya que tenemos 2 cristalizadores más disponibles, pero eso no es viable, ya que la planta no cuenta con mayor espacio para la instalación de los mismos y por otro lado la utilidad no se incrementa de manera significativa.

c) Optimización 1 vs. Optimización 2 (comparación de utilidades)

De acuerdo a la tabla que se muestra a continuación se muestra que en 1 año, la utilidad de la producción del Inkabor Meta y del ácido bórico de la línea 2 se incrementaría en un promedio anual de \$ 24,696.00, pudiendo llegar en un escenario optimista a ser de \$ 78,744.00. Por otro lado vemos que respecto a la optimización 2 en un escenario pesimista se perderían \$ 55,584.00. Es por ello que trabajaremos con la optimización 1 para la implementación y recomendación a la empresa.

Tabla 23: Comparación de las utilidades de las 2 optimizaciones propuestas vs utilidad actual

Comparacion de incremento de utilidades de las 2 optimizaciones propuestas						
	ACTUAL		OPTIMIZACION 1		OPTIMIZACION 2	
	Utilidad mensual	Utilidad anual	mensual	anual	mensual	anual
minima	\$ 15,061.00	\$ 180,732.00	\$ 16,991.00	\$ 203,892.00	\$ 10,429.00	\$ 125,148.00
promedio	\$ 17,779.00	\$ 213,348.00	\$ 19,837.00	\$ 238,044.00	\$ 18,535.00	\$ 222,420.00
maxima	\$ 19,307.00	\$ 231,684.00	\$ 25,869.00	\$ 310,428.00	\$ 21,623.00	\$ 259,476.00
			OPTIMIZACION 1		OPTIMIZACION 2	
			1	2		
Incremento de utilidad en escenario pesimista			\$ 23,160.00	\$ -55,584.00		
Incremento de utilidad en escenario normal			\$ 24,696.00	\$ 9,072.00		
Incremento de utilidad en escenario optimista			\$ 78,744.00	\$ 27,792.00		

Fuente: Propia

6.4. Implementación de la optimización

De acuerdo a lo comentado previamente, solo la optimización 1 es viable de implementar y la más beneficiosa, por lo que a continuación se muestra la recomendación a la empresa para hacer reales los nuevos indicadores presentados en la optimización 1.

Debido que la herramienta sugiere incrementar la capacidad de 2 equipos, la recomendación es la siguiente:

- Incrementar la capacidad de la Centrífuga de la línea 2 al doble:

Para ello, de acuerdo a lo conversado con los ingenieros, se requeriría la adquisición de un variador de velocidad eléctrico para la potencia del motor de este equipo, la cual es de 50 HP. Adquiriendo este equipo se lograría incrementar la capacidad del mismo al doble y así reducir los tiempos de espera de la línea 2 e incrementar la producción y por ende la utilidad. Las características del variador se muestran a continuación y también se pueden ver más a detalle en el anexo B :

- ✓ Carga de 50HP (=37.5 kW)
 - ✓ Fabricante ABB
 - ✓ Part Number: ACS800-01-0070-5
 - ✓ Precio: 6,500 USD
 - ✓ Costo de mantenimiento anual estimado: 300 USD
 - ✓ Costo de instalación estimado: 300 USD
- Incrementar la capacidad del secador flash de la línea 2 al triple:
- Para ello, de acuerdo a lo conversado con los ingenieros, se requeriría la adquisición de un variador de velocidad eléctrico para la potencia del motor de este

equipo, la cual es de 40 HP. Adquiriendo este equipo se lograría incrementar la capacidad del mismo al triple y así reducir los tiempos de espera de la línea 2 e incrementar la producción y por ende la utilidad. Las características del variador se muestran a continuación y también se pueden ver más a detalle en el anexo B:

- ✓ Carga de 40HP (=30 kW)
- ✓ Fabricante ABB
- ✓ Part Number: ACS800-01-0050-5
- ✓ Precio: 3,800 USD
- ✓ Costo de mantenimiento anual estimado: 200 USD
- ✓ Costo de instalación estimado: 200 USD

De acuerdo a lo presentado, se mostrará a continuación en la tabla, el periodo de recuperación de la inversión implementando la optimización 1 y costeando la inversión sólo con el incremento de utilidad respecto a la actualidad.

Tabla 24: Costo de la optimización 1 y recuperación de la inversión

Costo de optimizacion 1			
<u>1. Doblar la capacidad de la centrifuga</u>			
Instalacion Equipo		\$	300.00
Costo del variador de velocidad 50 HP		\$	6,500.00
Mantenimientos anuales		\$	300.00
TOTAL COSTO INSTALACIÓN		\$	7,100.00
<u>2. Triplicar la capacidad del secador</u>			
Instalacion Equipo		\$	200.00
Costo del variador de velocidad 40 HP		\$	3,800.00
Mantenimientos anuales		\$	200.00
TOTAL COSTO INSTALACIÓN		\$	4,200.00
TOTAL COSTO OPTIMIZACION 1		\$	11,300.00
Periodo de recuperacion de la inversion Optimizacion 1			
	inversion	incremento anual de utilidad	Meses
escenario pesimista	\$ 11,300.00	\$23,160.00	5.85
escenario normal	\$ 11,300.00	\$24,696.00	5.49
escenario optimista	\$ 11,300.00	\$78,744.00	1.72

Fuente: Propia

Como se puede ver en la tabla, la optimización propuesta se estaría recuperando en menos de medio año y en caso de un escenario optimista, se recuperaría la inversión en menos de 2 meses, teniendo disponible posterior a estos 2 meses la totalidad del incremento de la utilidad, siendo este en un escenario normal un promedio anual de \$ 24,696.00, pudiendo llegar a ser en un escenario optimista de \$ 78,744.00.



Conclusiones

- PRIMERA: La herramienta de simulación Arena, permite simular el modelo actual de trabajo de la empresa cuando se producen el Ácido Bórico CQ e Inkabor Meta en la línea 2 y 3, ayudando así a identificar cuellos de botella en los procesos de centrifugado y secado de la línea 2 de producción.
- SEGUNDA: La herramienta OptQuest sugiere que el sistema debería contar con el doble de capacidad en el proceso de centrifugado y el triple de capacidad en el proceso de secado en la línea 2 de producción, para incrementar la utilidad anual de ambos procesos de producción.
- TERCERA: La implementación de la optimización mencionada en la segunda conclusión, reduce los tiempos de espera en cola de los procesos de centrifugado, secado y ensacado de Línea 2 en 117 minutos para cada entidad y la utilidad de la empresa por estos productos se incrementa en un estimado anual en \$ 24,696.00 (escenario estándar), pudiendo llegar a ser un incremento de \$ 78,744.00 (escenario optimista).
- CUARTA: La inversión requerida para implementar la optimización sugerida es de \$ 11,300.00. Esta inversión será pagada en menos de 6 meses sólo con el incremento de utilidad anual, pudiendo llegar a pagarse en un escenario optimista en menos de 2 meses.
- QUINTA: Actualmente la empresa concuerda en que el estudio logra identificar adecuadamente los cuellos de botella y sobretodo muestra la mejora en los indicadores del modelo, los cuales representan verdaderamente una cantidad significativa de incremento de utilidad y tonelaje de producción.

Recomendaciones

- PRIMERA: Cualquier cuello de botella por más pequeño que sea, debe ser evaluado por la empresa y hacer la comparación de costo-beneficio, con el fin de estar totalmente seguros de que la inversión en alguna mejora u optimización no vale la pena.
- SEGUNDA: Continuar con la utilización del modelo simulado en Arena para identificar nuevos problemas y nuevas propuestas de mejora, visualizando fácilmente la modificación en los indicadores del sistema, pudiendo hacerlo extensivo a las otras líneas de producción de la empresa.
- TERCERA: Tomar constantemente datos de todos sus procesos de producción para poder evaluar tendencias y contar con información para desarrollar mejoras.

Bibliografía

✓ Libros

- Barceló, J. (1996). *Simulación de Sistemas Discretos* (4ta Edición). Madrid: Isdefe
- Fábregas Ariza, A.; Wadnipar Rojas, R.; Paternina Arboleda, C.; Mancilla Herrera, A. (2003). *Simulación de Sistemas Productivos con Arena*. Barranquilla: Universidad del Norte
- Flores de la Mota, I. (2011). *Conceptos Básicos de Estadística para Simulación – Facultad de Ingeniería*. Mexico DF: Universidad Nacional Autónoma de México
- Gómez Quevedo, J. M. (XXXX). *CURSO DE SIMULACION CON ARENA*. Arequipa
- Law A.M., Kelton W.D. (1991). *Simulation Modeling & Analysis* (Second Edition). New York: McGraw-Hill
- Torres Vega, P. (2010). *Simulación de Sistemas con el Software Arena*. Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima
- W. David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock. (2008). *Simulación con Software Arena* (4ta Edición). Mexico DF: Editorial Mc Graw Hill
- (2010). Boron: Global Industry Markets & Outlook (12th Edition). United Kingdom: Roskill

✓ Artículos/ Guías

- Carbajal, E. (XXXX). *Guía de análisis de datos con Input Analyzer*. Pontificia Universidad Católica Del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Simulación de Sistemas

✓ Tesis

- Álvarez, M.E.; García R. M. (XXXX). *Simulación de los Procesos de Producción en los Ingenios Azucareros*. FICA - EISIC
- Domínguez, O.J.; Serrano, E.M.; Flores, J. E. y Michel R. L. (2011). *Un Nuevo Método Para Mejorar El Proceso De Producción De Ácido Bórico*. Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ingeniería, Consejo de Investigación, Instituto de Beneficio de Minerales

✓ Páginas Web

- ABB (2015). *Variadores de velocidad*. Recuperado de:
https://library.e.abb.com/public/fcad7e1548b9e934c1257b67003616fe/EN_ACS800singledrivescatalogRevO.pdf
- Dialnet. (2014). *Utilización en cerámica de barro efluentes de la producción de ácido bórico*. Recuperado de:
<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4052732>
- Elsevier. (2014). *Simulation of continuous boric acid slurry reactors in series by microfluid and macrofluid models*. Recuperado de:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022024807004745>
- Facultad De Comercio De Valladolid. (2014). *Distribuciones de variables continuas*. Recuperado de:
http://www.emp.uva.es/inf_acad/hermer/estad2/material/e2t_dist_var_continuas.pdf
- Horacio R. Flores y María de los Á. Tinte. (2014). *Cálculo del Costo Comparativo de la Obtención de Concentrados de Boratos*. Recuperado de:
<http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n3/art02.pdf>

- Monografías. (2014). *Conceptos Básicos de Probabilidades y Estadística inferencial*. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos95/conceptos-basicos-probabilidades-y-estadistica-inferencial/conceptos-basicos-probabilidades-y-estadistica-inferencial.shtml>
- Metodología. (2014). *Conceptos básicos de la metodología de la investigación*. Recuperado de: <http://metodologia02.blogspot.pe/p/operacionalizacion-de-variables.html>
- Universidad Nacional de la Plata. (2015). *Propiedades de los cristales – Química inorgánica II*. Recuperado de: <http://catedras.quimica.unlp.edu.ar/qi2/TP%20solidos2.pdf>
- Tertulia de amigos. (2015). *Obtención de cristales*. Recuperado de: <http://tertuliadeamigos.webcindario.com/practicas01.html>
- Wikipedia. (2014). *Centrifugación*. Recuperado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Centrifugaci%C3%B3n>
- Wikipedia. (2014). *Hidróxido de Sodio*. Recuperado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3xido_de_sodio
- Wikipedia. (2014). *Reacción Química*. Recuperado de: http://es.wikipedia.org/wiki/Reacci%C3%B3n_qu%C3%ADmica
- Wikipedia. (2014). *Cristalización*. Recuperado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cristalizaci%C3%B3n>
- Wikipedia. (2014). *Boro*. Recuperado de: <http://es.wikipedia.org/wiki/Boro>
- www.mariopilato.com
- Wikipedia. (2014). *Ácido Bórico*. Recuperado de: http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_b%C3%B3rico

- Xunta de Galicia. (2014). *Distribuciones de Probabilidad*. Recuperado de:
<http://dxsp.sergas.es/ApliEdatos/Epidat/Ayuda/4-Ayuda%20Distribuciones%20de%20probabilidad.pdf>



Anexos

A. Anexo fotográfico de la centrífuga y del secador flash de la línea 2

1. Centrífuga actual de la línea 2



2. Centrifuga actual de la línea 2 (motor)



3. Secador flash actual de la línea 2 (motor)



4. Secador flash actual de la línea 2



B. Especificaciones técnicas y plano de los variadores de velocidad ABB

Convertidores de frecuencia montados en pared, ACS800-01

El convertidor de frecuencia montado en pared ACS800-01 ofrece todo lo necesario hasta un máximo de 200 kW. Todas las opciones y características importantes están integradas dentro del convertidor: reactancia de red, filtro EMC, chopper de frenado, etc. El usuario disfruta de todas estas características en un único y completo paquete IP21 o IP55. No obstante, el accionamiento también tiene un tamaño muy reducido. Una amplia gama de alternativas de software hacen que este accionamiento sea adecuado para cualquier aplicación.



Tamaño del ACS800-01	Especificaciones nominales		Uso sin sobrecarga	Uso en sobrecarga ligera		Uso en trabajo pesado		Bastidor	Flujo de aire m³/h	Disipación de calor W
	I _{cont.max} A	I _{max} A	P _{cont.max} kW	I _{2N} A	P _N kW	I _{2hd} A	P _{hd} kW			
Tensión de alimentación trifásica de 380 V, 400 V, 415 V, 440 V, 460 V, 480 V o 500 V										
-0004-5	4,9	6,5	2,2	4,5	2,2	3,4	1,5	R2	35	120
-0005-5	6,2	8,2	3	5,6	3	4,2	2,2	R2	35	140
-0006-5	8,1	10,8	4	7,7	4	5,6	3	R2	35	160
-0009-5	10,5	13,8	5,5	10	5,5	7,5	4	R2	35	200
-0011-5	13,2	17,6	7,5	12	7,5	9,2	5,5	R2	35	250
-0016-5	19	24	11	18	11	13	7,5	R3	69	340
-0020-5	25	32	15	23	15	18	11	R3	69	440
-0025-5	34	46	18,5	31	18,5	23	15	R3	69	530
-0030-5	42	62	22	39	22	32	18,5	R4	103	610
-0040-5	48	72	30	44	30	36	22	R4	103	810
-0050-5	65	86	37	61	37	50	30	R5	250	990
-0060-5	79	112	45	75	45	60	37	R5	250	1190
-0070-5	96	138	55	88	55	69	45	R5	250	1440
-0105-5	145	170	90	141	90	100	55	R5	405	2150
-0100-5 *	124	164	75	115	75	88	55	R6	405	1940



C. Encuesta para identificar problema a solucionar que brindará mayor beneficio a la empresa Inkabor S.A.C.

**ENCUESTA PARA IDENTIFICAR PROBLEMA A
SOLUCIONAR QUE BRINDARÍA MAYOR BENEFICIO
A LA EMPRESA INKABOR S.A.C**

- 1. Marque con una "X" aquel problema que existe actualmente en la Planta de Producción de Rio Seco que cree usted que si se soluciona brindaría mayores beneficios a la empresa**

☐ Optimización del proceso de producción de la Línea 1 para evitar que el producto salga fuera de especifica

☐ Optimización de la producción de Ulexita Lavada

☐ Optimización del proceso de producción del Inkabor Meta y del Ácido Bórico CQ que se producen en paralelo en las L2 y L3

☐ Incrementar la producción del Octoborato de Sodio

- 2. De acuerdo al problema que seleccionó en el punto 1, por favor detalle los problemas inmersos que se encuentran en el mismo (¿Dónde cree usted que radica el problema, que cuellos de botella existen, que equipos deficientes existen en el proceso, etc?)**

D. Manual operativo del simulador ARENA – PDF

1. Instalación del Software Arena Master Development

Se debe seguir los siguientes pasos:

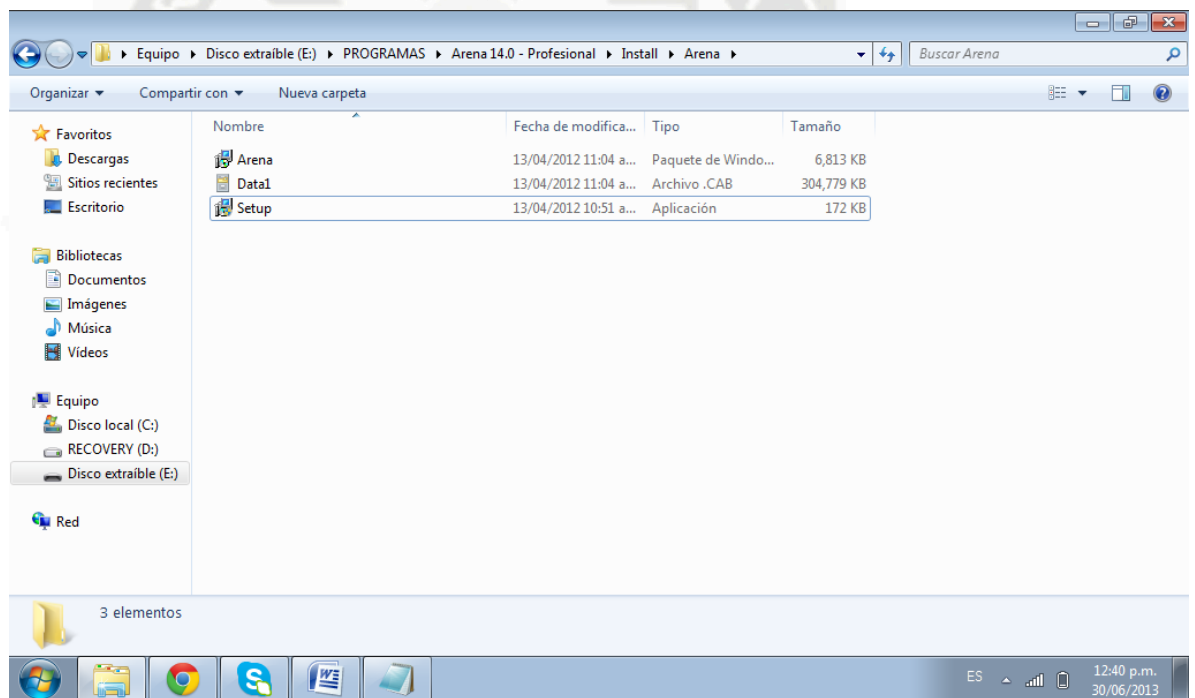
1.1. Instalar el Programa

Para instalar el software Arena Master Development se necesita del instalador “Arena 14.0 - Profesional”.

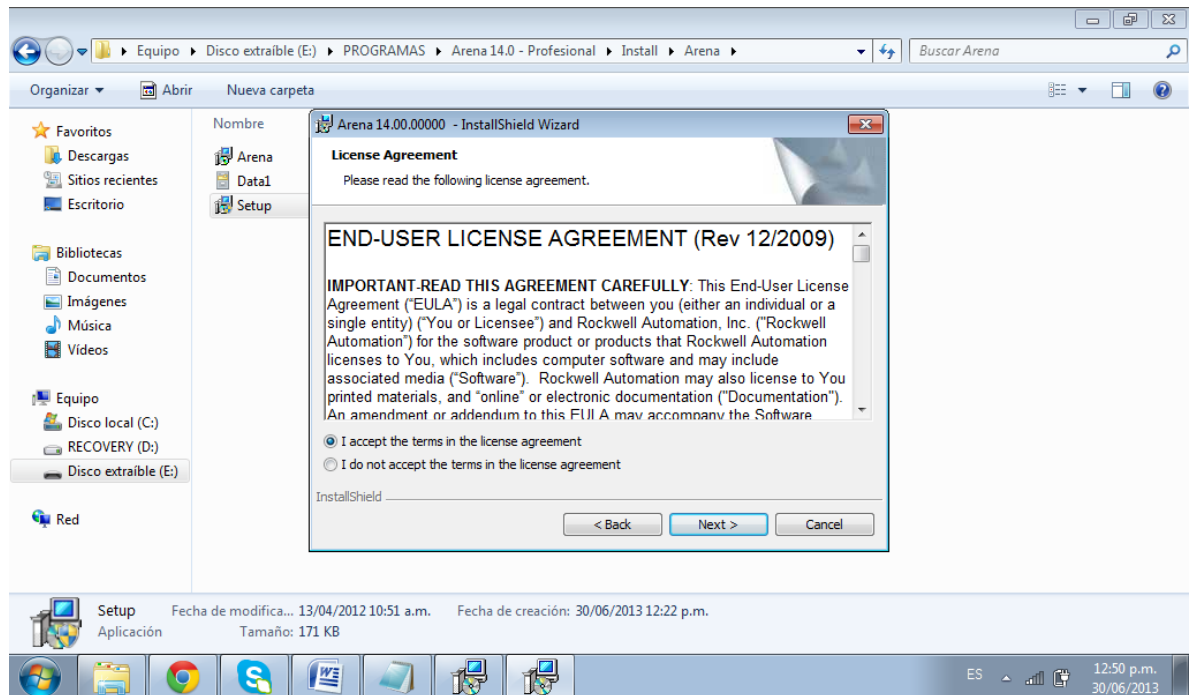
Ejecutar el instalador del programa Arena Software ubicado en la carpeta
Arena 14.0 - Profesional\Install\Arena

Hacer click en Setup

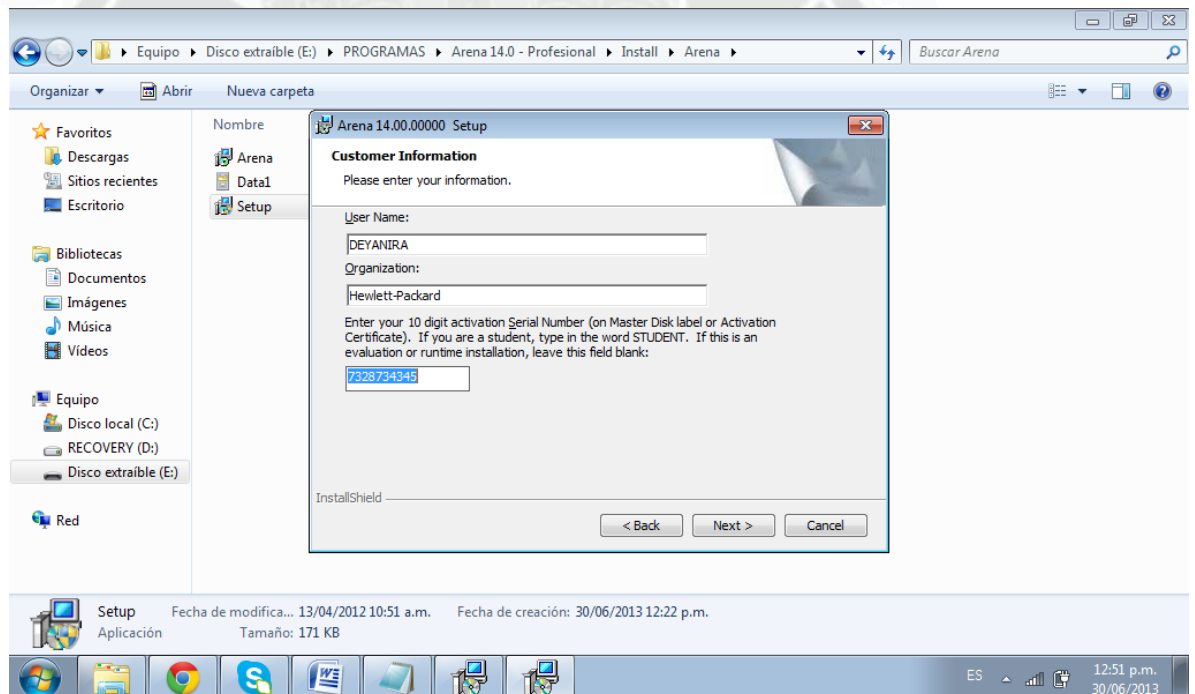
Al momento de requerir el SERIAL: 7328734345



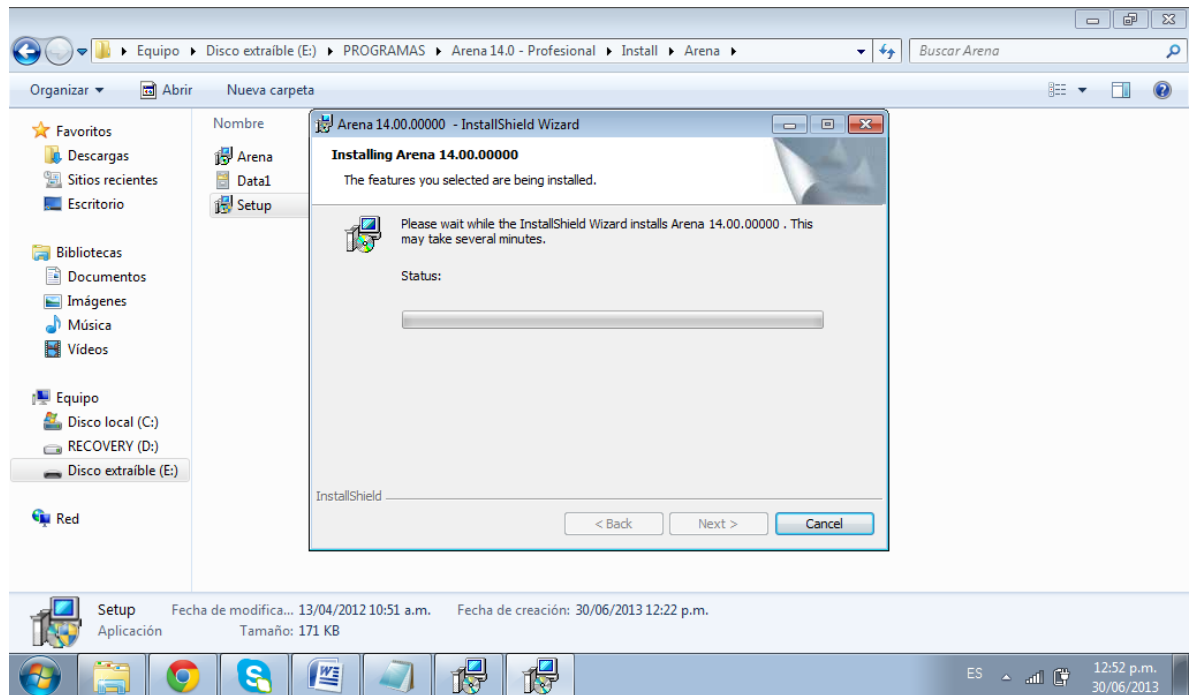
Aceptar el contrato de licencia



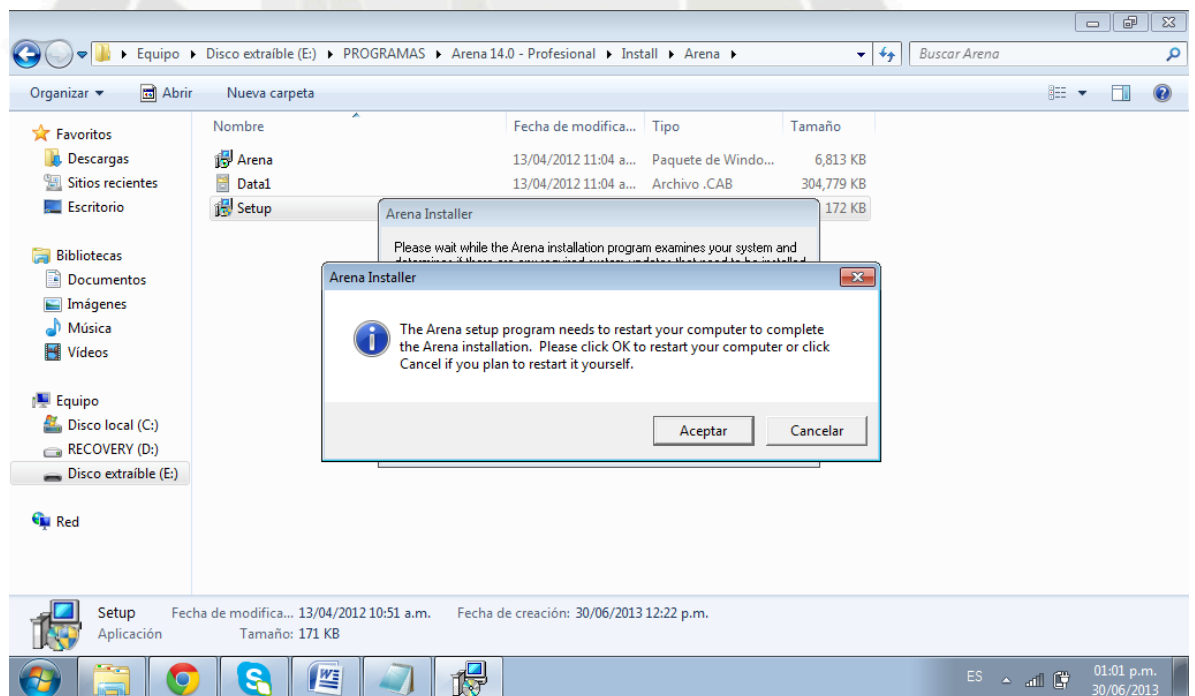
Colocar el número de serial



Y comenzar la instalación



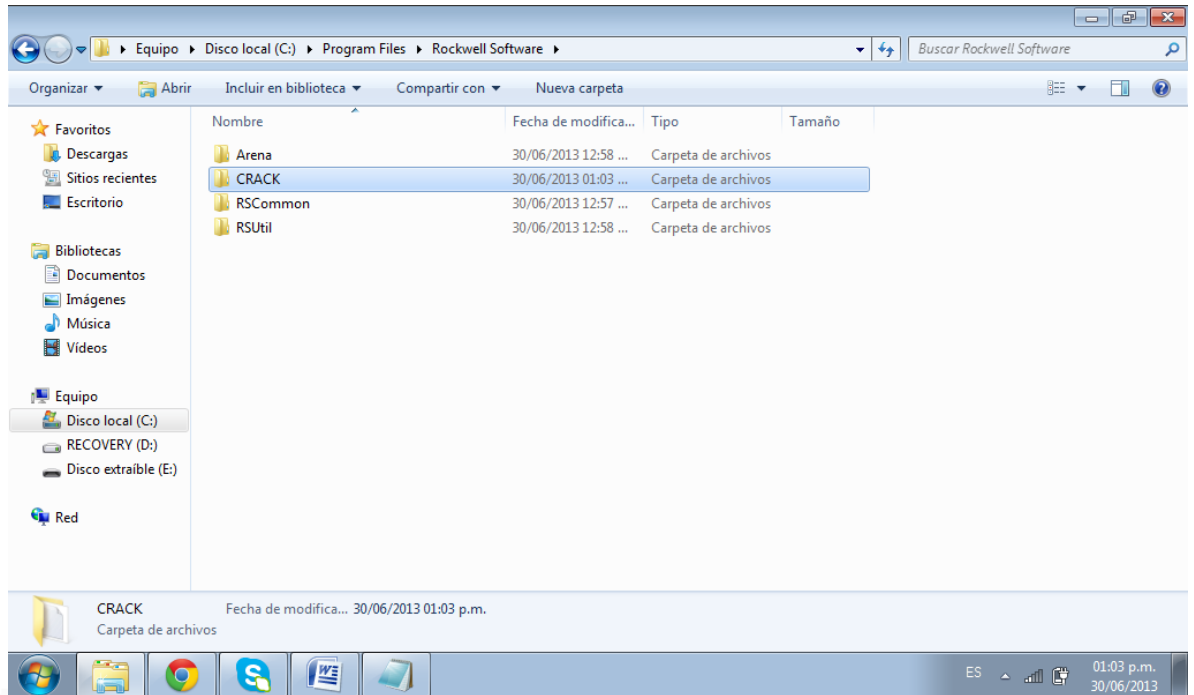
Una vez acabado la instalación, reiniciar la computadora



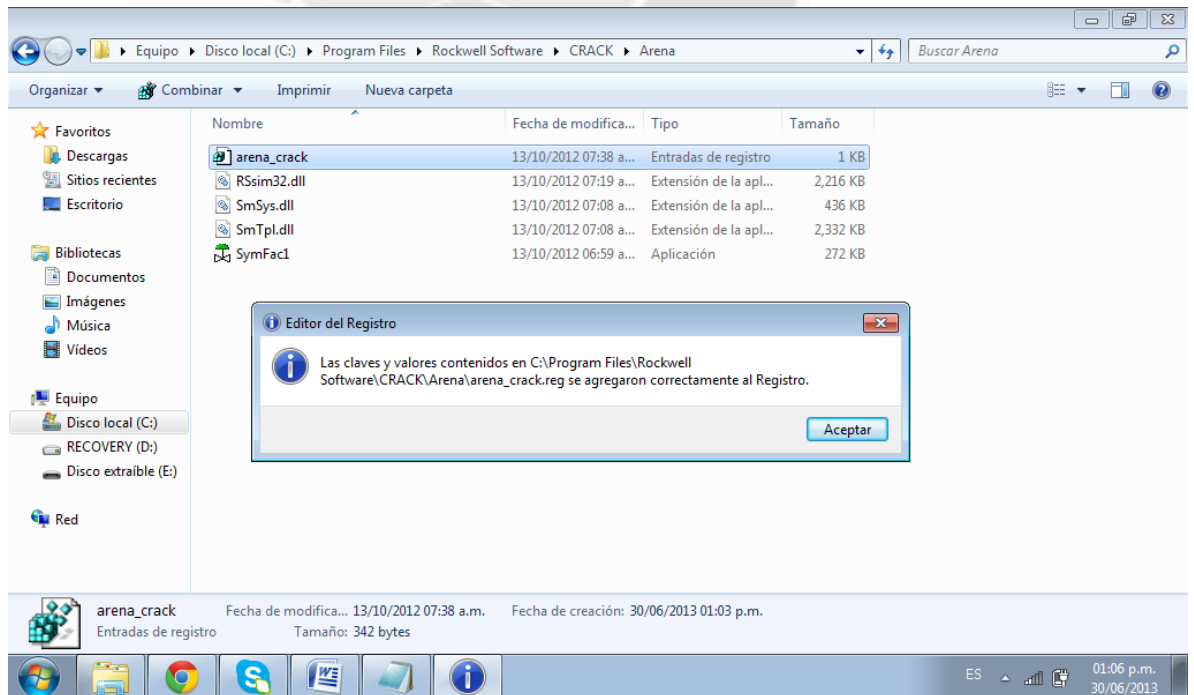
1.2. Copiar la Carpeta "Arena"

La Carpeta donde se instaló el Programa, debería ser:

"C:\Archivos de programa\Rockwell Software\"

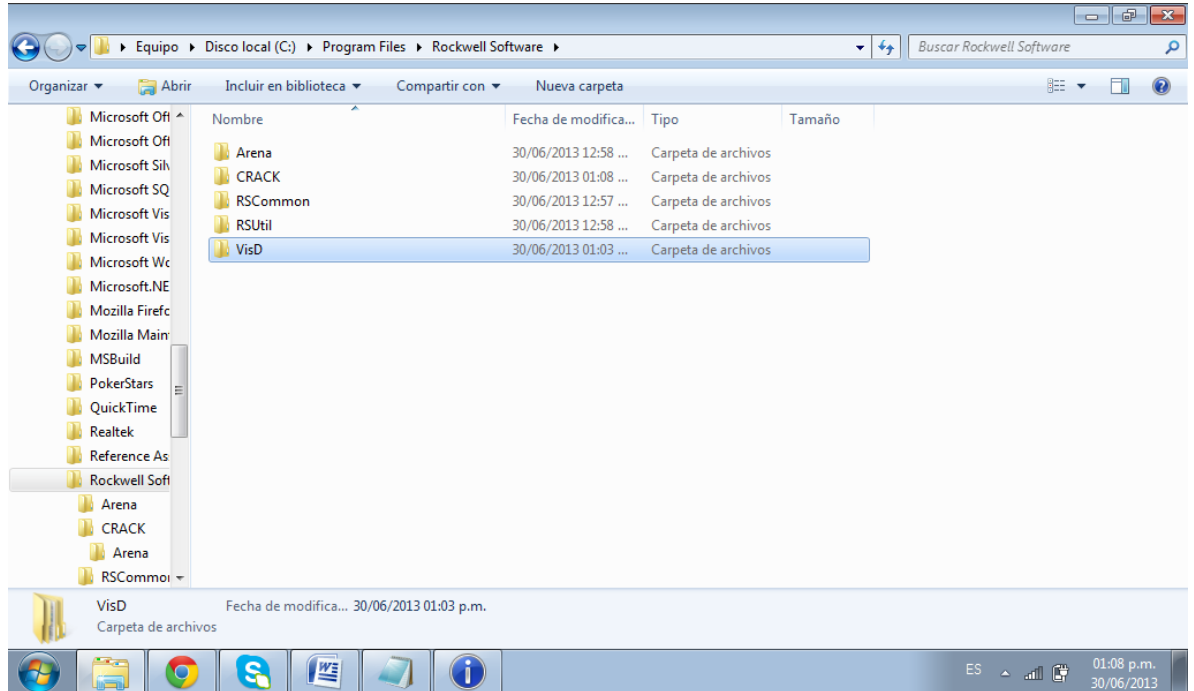


1.3. Ejecutar el Archivo "arena_crack.reg" de la Carpeta a la que se copió

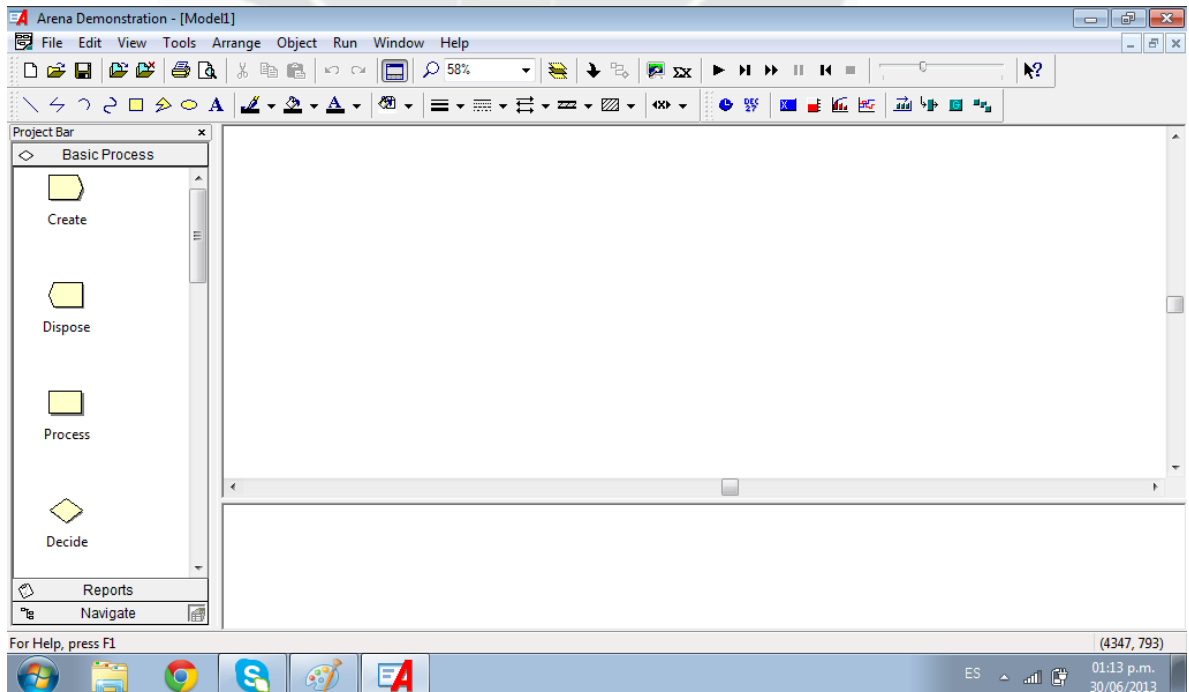


1.4. Copiar la Carpeta "VisD" a la Carpeta donde se instaló el Programa, debería ser:

"C:\Archivos de programa\Rockwell Software\"



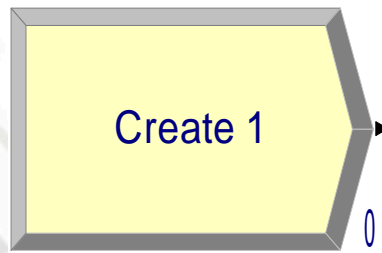
1.5. Una vez finalizado la instalación el programa deberá correr normalmente.



Módulos básicos:

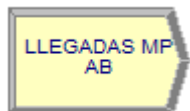
- *Create*: Modulo que representa la llega de entidades al proceso de de un producto o servicio, según intervalos de tiempo definidos.

Para introducir uno nos dirigimos a basic process y jalamos el modulo a la hoja en blanco.

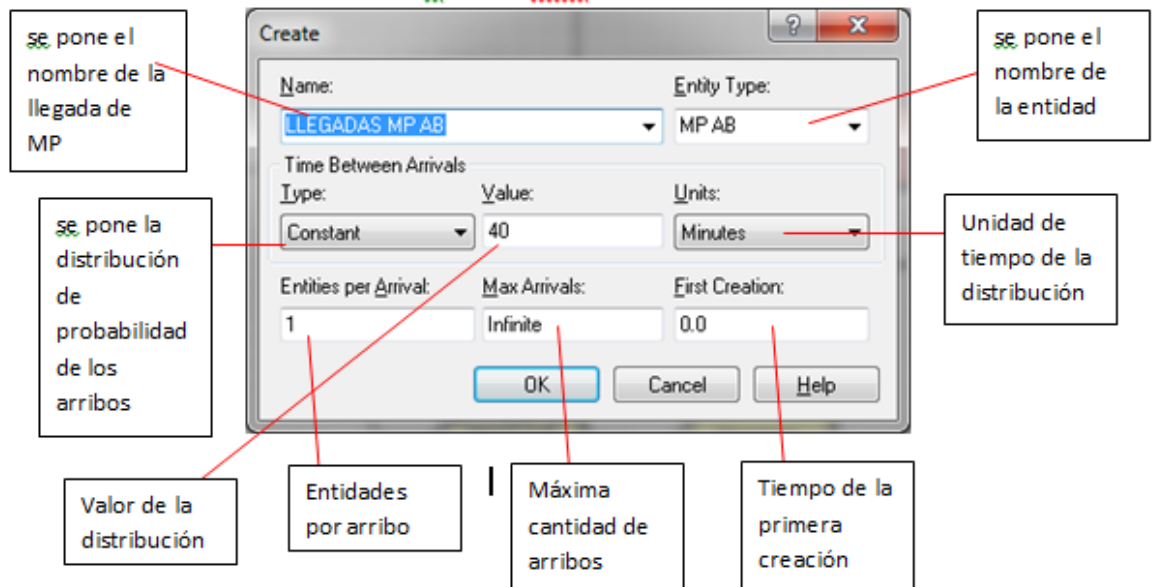


Los creates que se usan para el modelo son los siguientes:

- Llegadas de MP de Ácido Bórico.



al hacer 2 clicks:



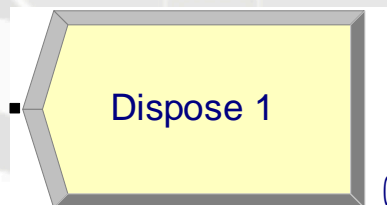
Los demás Create siguen la misma forma; para poder apreciar los detalles hacer doble click sobre el módulo.

- Llegadas MP Inkabor Meta
- Create 5

Esta creación es para determinar la utilidad del sistema. Aclara que sólo se generará una entidad cuando termine de simular el sistema. (First Creation después de 20 días).

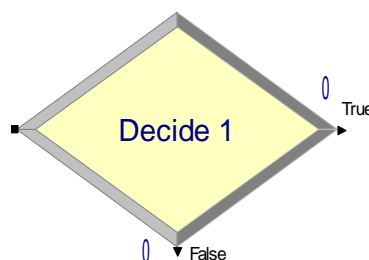
- *Dispose*: Este módulo tiene la función inversa a la del módulo créate, su función es retirar las entidades del sistema.

Para introducir uno al modelo nos dirigimos a basic process y arrastramos el módulo a la hoja en blanco.

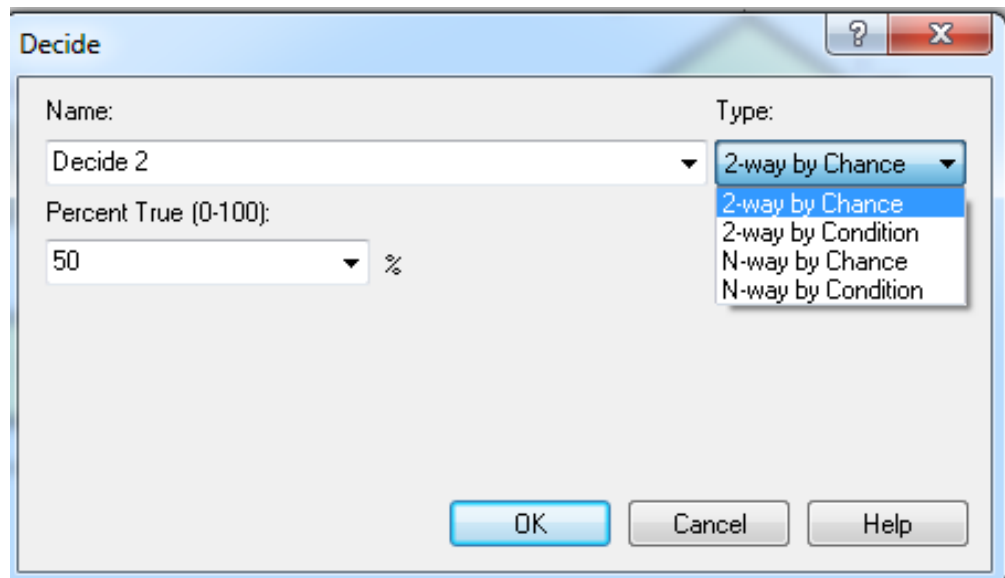


- *Decide*: Este módulo representa una ramificación en el flujo del proceso. Sirve para alterar el rumbo de las entidades basado en una condición del sistema o en probabilidad representada en porcentaje.

Para introducir este modulo al modelo nos dirigimos a básico process y arrastramos el modulo a la hoja de cálculo en la posición deseada.

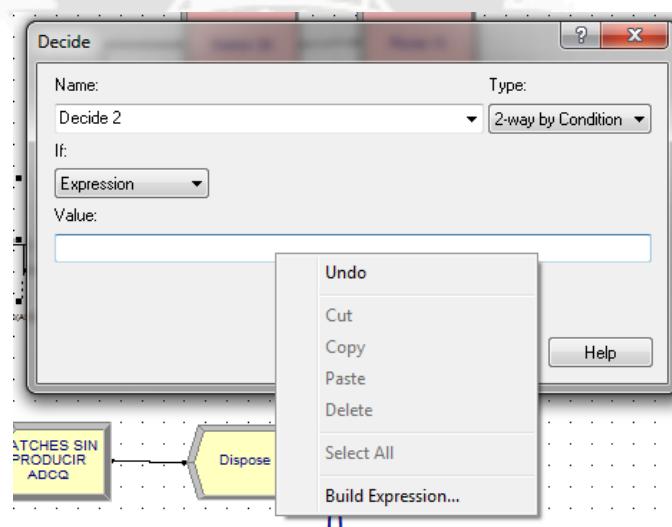


Dándole doble click al módulo decide tenemos:

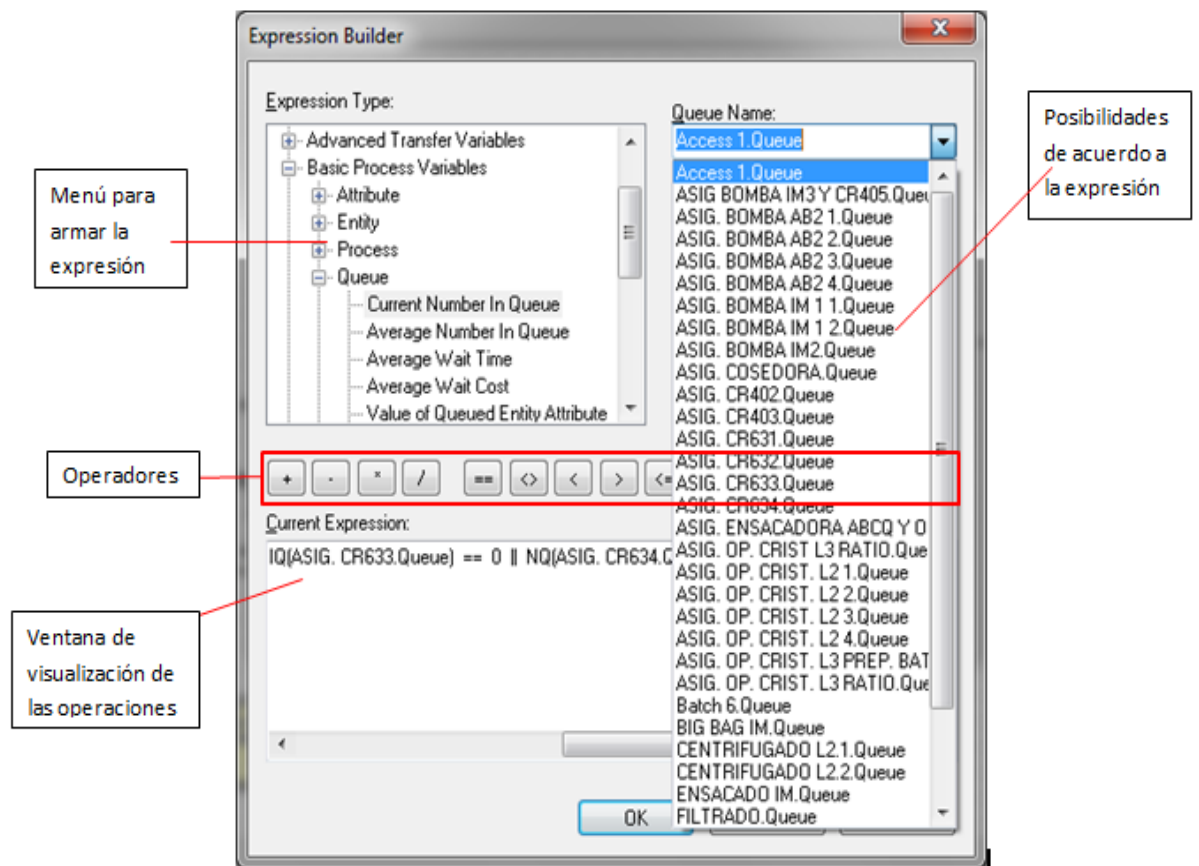


Desplegando la pestaña type seleccionamos el tipo de decisión que llevaremos a cabo, teniendo los siguientes:

- 2 way by Chance: para realizar una decisión por porcentaje teniendo solo dos destinos o ramificaciones.
- 2 way by Condition: para realizar una decisión usando como criterio alguna condición y teniendo solo dos ramificaciones.
- N way by chance: para realizar una decisión por porcentaje teniendo más de dos destinos o ramificaciones.
- N way by condition: para realizar una decisión usando como criterio alguna condición, teniendo más de dos ramificaciones.



- Para construir Decides especiales, se deberá de poner el tipo de condición “2 way by condition” , If “Expression”. Luego hacer click derecho en “Value” y en “Build Expression”. Aparecerá un cuadro como el siguiente:

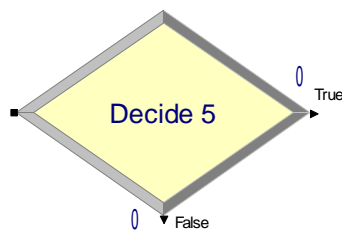


- **Nota:** El Build Expression se podrá utilizar en general para todos los módulos que se desee construir expresiones especiales.

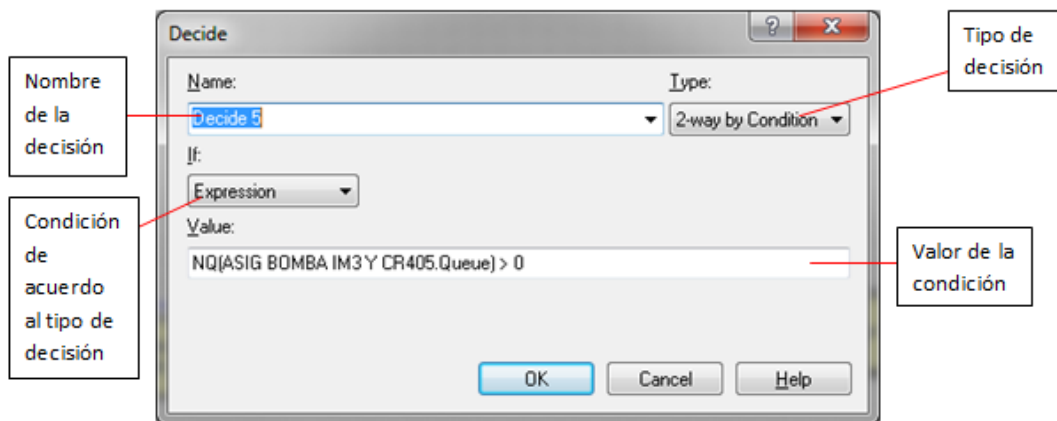
Los creates que se usan para el modelo son los siguientes:

Los Decides que se usan para el modelo son los siguientes:

- Decide 5

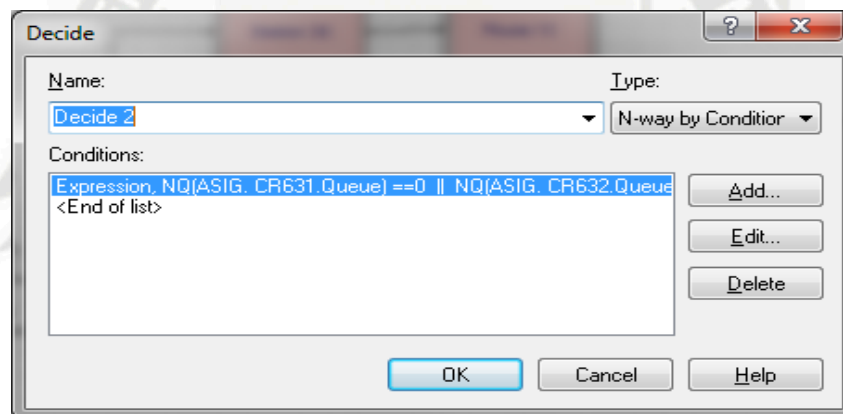


Al hacer 2 clicks:



En este caso el valor de la decisión significa que el Número de Entidades en Cola para asignar la Bomba IM3 y el Cristalizador CR405 debe ser mayor a 0. Si esta condición se cumple pasa por “True”; de lo contrario por “False”.

- Decide 2



El tipo de decisión es varias opciones por condición

La condición significa que:

El número de entidades en cola en la asignación de los cristalizadores CR631, CR632, CR633 y CR634 debe ser 0.

- Decide 8

The 'Decide' dialog box for 'Decide 8' is shown. It has a title bar with a question mark and a close button. The 'Name' field contains 'Decide 8'. The 'Type' dropdown is set to '2-way by Chance'. The 'Percent True (0-100):' field is set to '73 %'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

El tipo de decisión es 2 opciones por probabilidad

- Decide 7

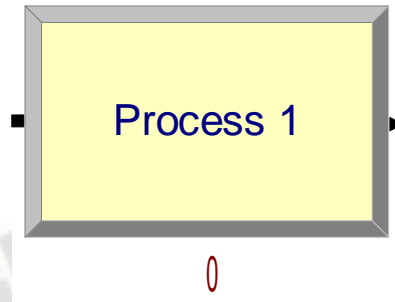
The 'Decide' dialog box for 'Decide 7' is shown. It has a title bar with a question mark and a close button. The 'Name' field contains 'Decide 7'. The 'Type' dropdown is set to '2-way by Condition'. The 'If:' dropdown is set to 'Entity Type'. The 'Named:' field contains 'ACIDO BORICO CQ'. At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

El tipo de decisión es 2 opciones por condición

El valor de la condición es por tipo de entidad, la entidad “ACIDO BORICO CQ” va por “True” y “False”.

- Decide 10
Sigue el mismo formato que el Decide 7.
- Decide 11
Sigue el mismo formato que el Decide 10 y el Decide 7.

- **Process:** Modulo que representa cualquier acción ejecutada dentro del sistema que requiera un tiempo determinado para ser ejecutada, asimismo representa la ocupación de una maquina u operario (recursos).
Para introducir el módulo process al modelo nos dirigimos a basic process y arrastramos el modulo en la posición deseada.



Los creates que se usan para el modelo son los siguientes:

- Proceso de Reacción

The screenshot shows the "Process" dialog box in a simulation software. The "Name" field is set to "REACCION" and the "Type" is "Standard". The "Logic" section shows "Seize Delay Release" and "Priority" is "Medium(2)". The "Resources" list includes "Resource: OPERARIO REACCION 1" and "Resource: REACTOR, 1". The "Delay Type" is "Constant", "Units" are "Minutes", and the "Value" is "40". The "Allocation" is "Value Added". The "Report Statistics" checkbox is checked. Red arrows point from text boxes to specific fields in the dialog.

Proceso de reacción, se coloca el nombre.

Se colocan los recursos, como:

- Maquinarias
- Operarios

El proceso en si posee una distribución: Constante, uniforme, exponencial, etc.

Los procesos poseen el mismo procedimiento:

- Proceso de filtrado
- Proceso de decantado 1
- Proceso de decantado 2
- Proceso de decantado 3
- Proceso de decantado 4
- SIFONEO 1
- SIFONEO 2

- ENSACADO IM (Unidad en segundos)
- **Proceso de Análisis de pulpa:**

Nombre del proceso

Delay: Significa demora

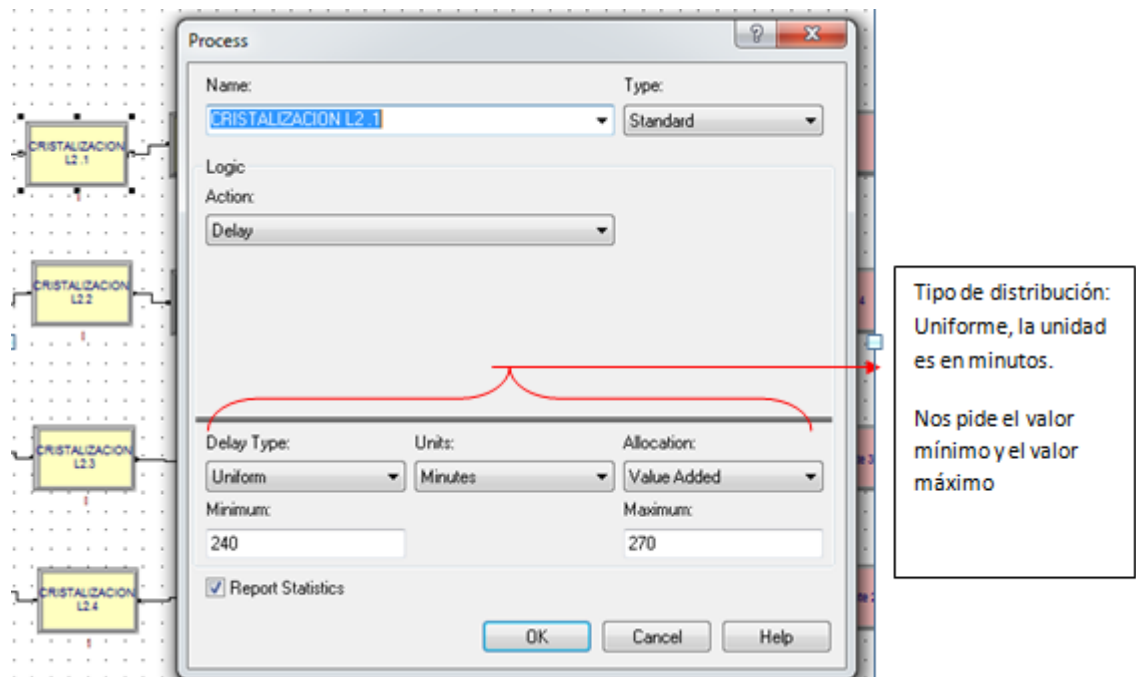
Tipo de distribución: Normal, la unidad es en minutos.

Nos piden la media y la desviación estándar, del comportamiento del proceso.

El mismo proceso se ejecutara para:

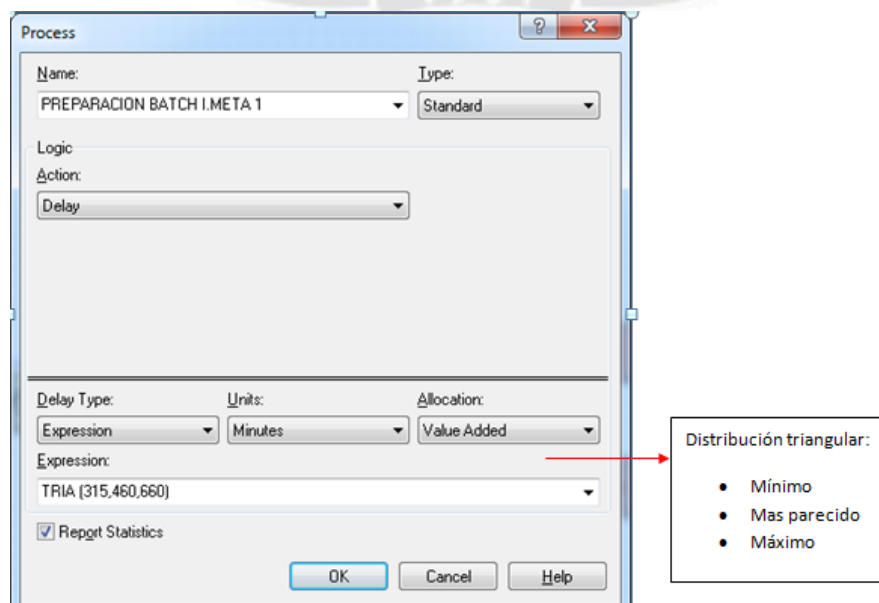
- Proceso Análisis pulpa 2
- Proceso Análisis pulpa 3
- Proceso Análisis pulpa 4
- DRENADO AM L2.1
- DRENADO AM L2.2
- DRENADO AM L2.3
- DRENADO AM L2.4
- ENFRIAMIENTO Y DECANTADO CR402
- ENFRIAMIENTO Y DECANTADO CR403
- SECADO
- ENSACADO ABCQ
- COSIDO SACOS

○ **Proceso de cristalización:**



El mismo proceso se ejecutara para:

- Proceso Cristalización 2
- Proceso Cristalización 3
- Proceso Cristalización 4
- REGULACION RATIO L3 1
- REGULACION RATIO L3 2
- PROCESO PREPARACION DEL BATCH I.META 1



- Centrifugado L2.1

Seize Delay Release:
Significa asignar demora y liberación del producto.

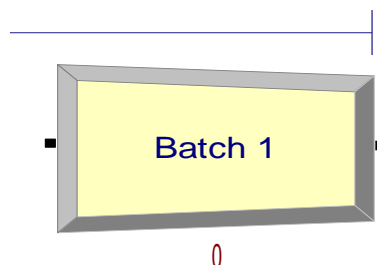
La expresión es tiempo centrifugado, porque el proceso ya fue asignado, por tipo, en el Assign anterior, bajo ese criterio el proceso tendrá diferentes tiempos de operación.

El mismo proceso:

- Proceso Centrifugado L2.1
- Proceso Centrifugado L2.2

Agrupamiento de entidades:

- *Batch*: Este módulo sirve para formar agrupamientos de entidades. La línea que se encuentra arriba del módulo contendrá a las entidades que vayan quedando en cola. Introducimos un módulo de este tipo dirigiéndonos a basic process y arrastrándolo a la posición deseada



Los batches que se usan para el modelo son los siguientes:

- Batch 6

Batch

Name: Batch 6

Type: Permanent

Batch Size: 14

Save Criterion: Last

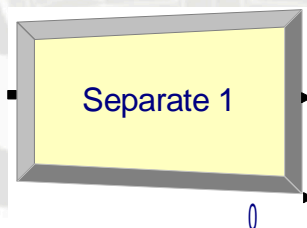
Rule: Any Entity

Representative Entity Type:

OK Cancel Help

Cantidad de entidades que agrupa y de forma permanente.

- BIG BAG IM (40)
- Parihuela AB (60)
- *Separate*: Este módulo posee función inversa al módulo batch. Sirve para separar los lotes temporarios formados por el batch, asimismo puede crear duplicados de las entidades que pasan por él. Para introcir un módulo separate nos tenemos q dirigir a basic process y arrastrarlo a la posición deseada.



Los separate que se usan para el modelo son los siguientes:

- Separate 8:

Separate

Name: Separate 8

Type: Duplicate Original

Percent Cost to Duplicates (0-100): 50

of Duplicates: 10

OK Cancel Help

Se puede separar los productos que fueron enviados en conjunto, aquí se coloca si se duplica.

Significa que habrá 1 original y 10 copias adicionales. Siendo en total 11.

- Separate 1 (1 original 4 copias) línea 2
- Separate 4 (1 original 22 copias) línea 3

Colecta y presentación de indicadores:

- ***Record***: El modulo record sirve para recolectar estadísticas en puntos del modelo escogidos por el usuario, de esta manera podemos contar:

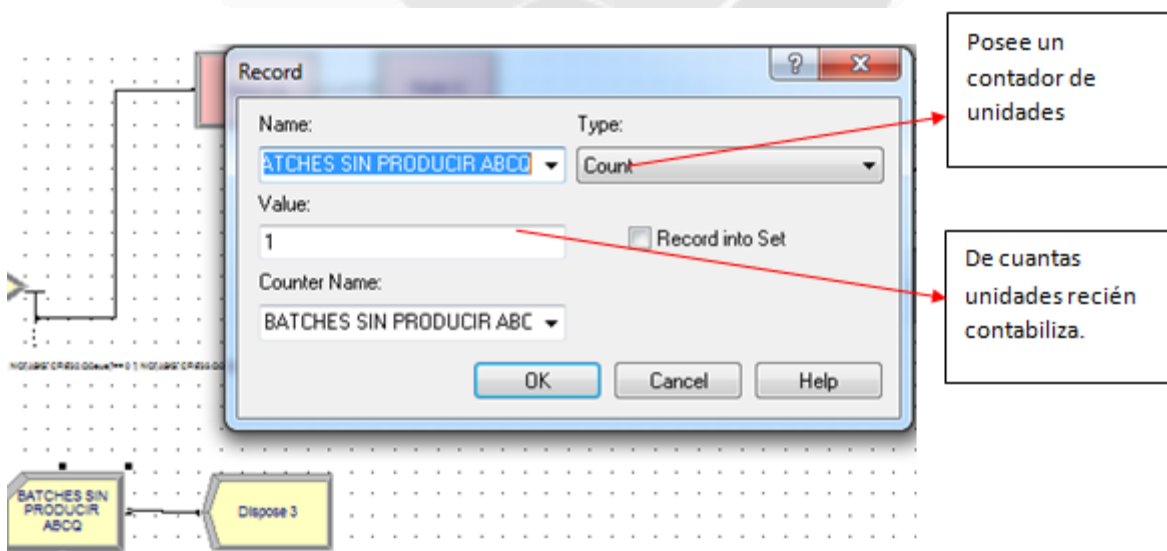
- Entidades.
- Frecuencia e intervalos de tiempo.

Para introducir un módulo record al modelo nos dirigimos a basic process y lo arrastramos a la posición deseada.



Los Record que se usan para el modelo son los siguientes:

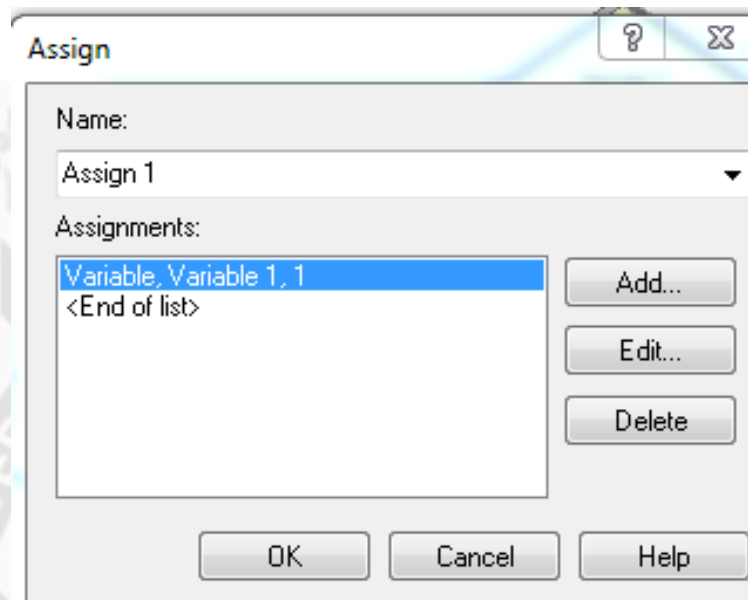
- BATCHES SIN PRODUCIR ABCQ



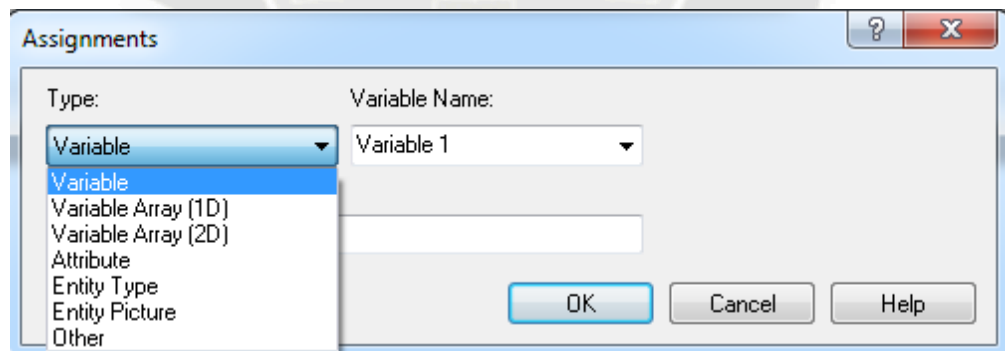
Otros Record iguales:

- BATCHES SIN PRODUCIR IM
- PRODUCCION ABCQ
- PRODUCCION IM

- *Assign*: Sirve para alterar o asociar valores a las variables, atributos de entidades, alterar la figura de las entidades y otros parámetros o variables del sistema. Para introducir un módulo de este tipo nos dirigimos a basic process arrastrando el modelo a la posición requerida.

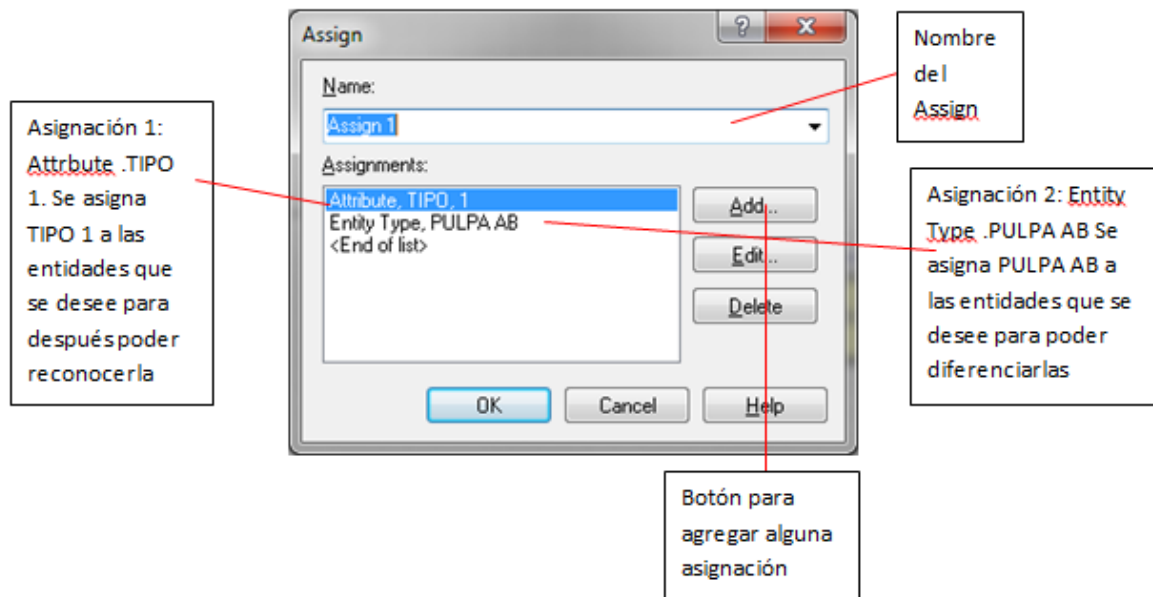


Dándole click a Add seleccionamos el tipo de assignment:

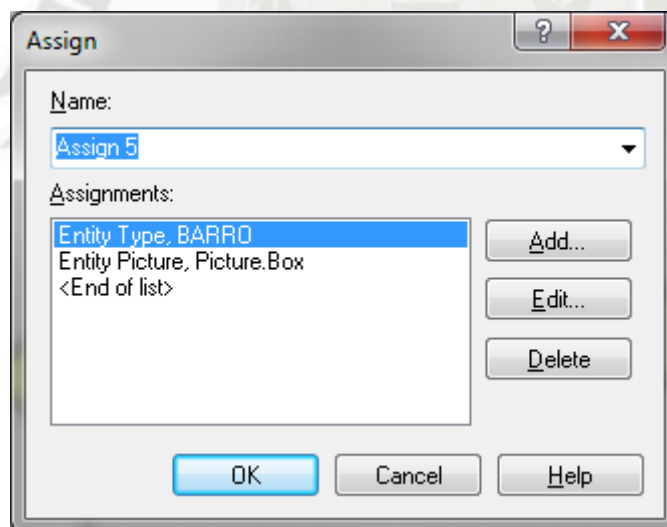


- Variable: para asignar una entidad según alguna variable establecida
- Attribute: para asignar una entidad según algún atributo definido
- Entity type:
- Entity picture: para asignar una entidad según una imagen

Los assigns que se usan para el modelo son los siguientes:

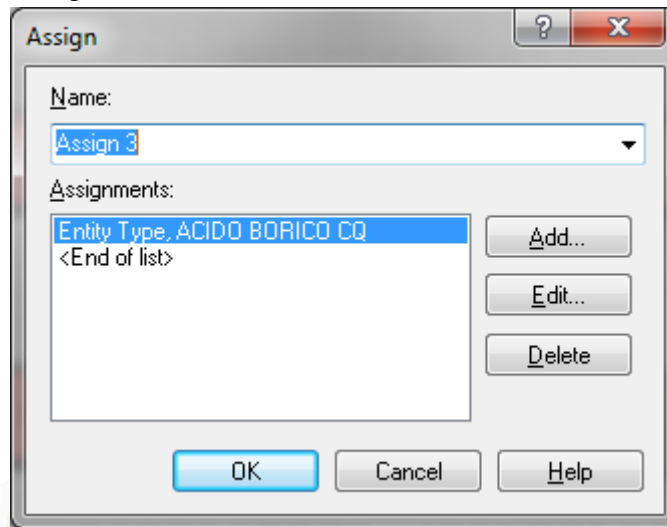


- Assign 5



Entity Picture: Picture Box para poder asignar un tipo de figura a la entidad

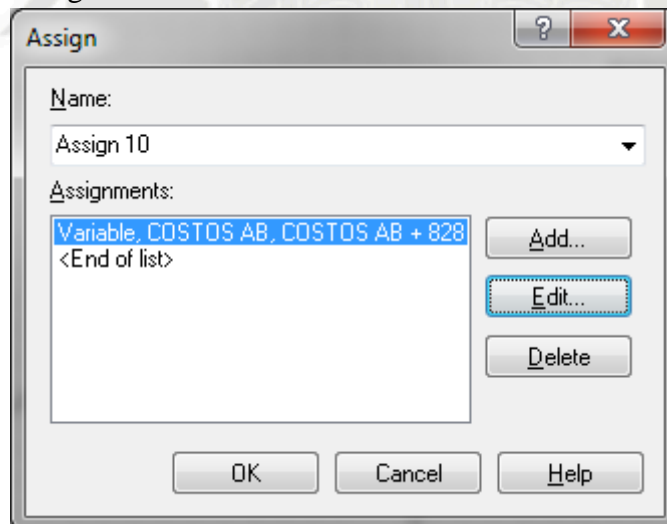
- Assign 3



- Assign 7
Sigue el mismo formato que el Assign 1.

- Assign 4
Sigue el mismo formato que el Assign 3

- Assign 10



Se asigna una Variable llamada COSTOS AB. La cual indica que una vez que la entidad pase por ese Módulo se cargará 828 unidades monetarias adicionales.

- Assign 11
Sigue el mismo formato que el Assign 10

- Assign 12

Sigue el mismo formato que el Assign 11 pero esta vez haciendo referencia a las ventas

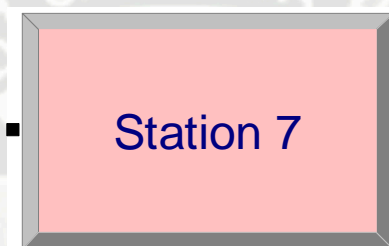
- Assign 14

Sigue el mismo formato que el Assign 12

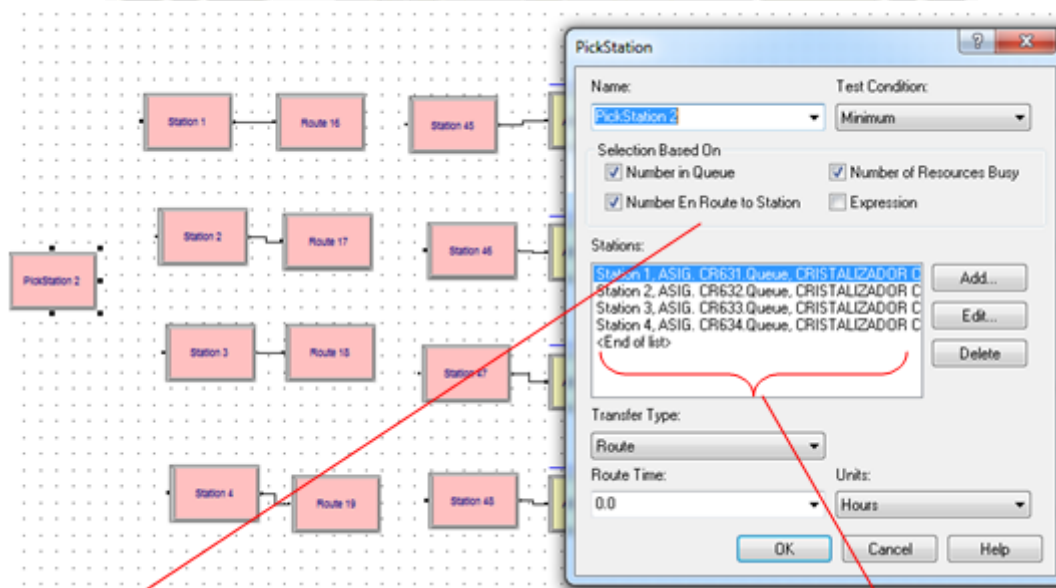
- Assign 15.

Sigue el mismo formato que Assign 10, 11, 12, 14 y 15 pero esta vez restará las ventas de ambos productos menos los costos.

- Pick station:



PICK STATION (CRISTALIZADOR):



Seleccionando en base a:

- La condición debe ser mínima para que los productos no esperen.
- Número de productos en cola
- Número de recursos ocupados
- Número productos en camino.

Se asigna el pick station con los 4 station para que el sistema se correlacione.

- PICK STATION (BOMBA): De igual forma que el cristalizador.

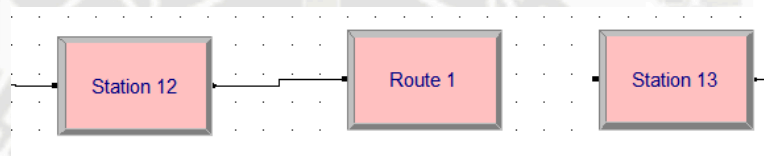
Transportes

Dentro de la animación y simulación de optimización en el proceso de ácido bórico en Inkabor, se cuenta con 3 sistemas de transporte, los cuales detallaremos a continuación:

1. **Transporte directo**
2. **Faja transportadora**
3. **Transporte mediante Patos mecánicos**

- **Transporte directo**

Se da para transportes sin intermediarios como una faja o un pato mecánico, para ser utilizados se necesita de 3 procesos de transferencia. Los cuales se encuentran ubicados en el panel izquierdo, en la pestaña de Advanced Transfer.



El único elemento que debe ser modificado en el route.

La imagen muestra una ventana de diálogo titulada 'Route'. Las anotaciones y los campos correspondientes son:

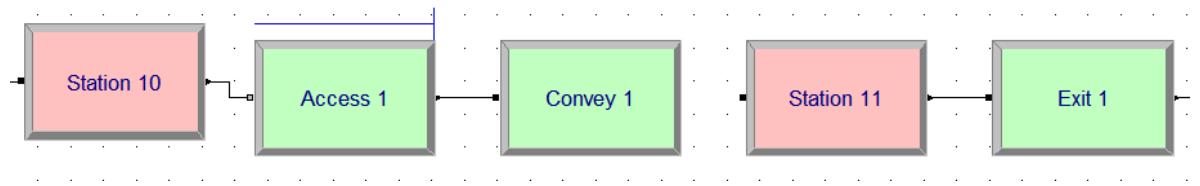
- Ingresar nombre de la ruta:** Apunta al campo 'Name:' que contiene 'Route 1'.
- Ingresar tiempo de la ruta:** Apunta al campo 'Route Time:' que contiene '53'.
- Ingresar unidad de tiempo:** Apunta al menú desplegable 'Units:' que muestra 'Minutes'.
- Ingresar el station de destino:** Apunta al campo 'Station Name:' que contiene 'Station 13'.

El formulario también incluye un menú desplegable 'Destination Type:' con 'Station' seleccionado, y botones 'OK', 'Cancel' y 'Help' en la parte inferior.

- **Faja transportadora**

En la simulación se usa específicamente para pasar del proceso centrifugado al proceso de secado.

Para configurar una faja transportadora se requieren de los siguientes elementos. Los cuales se encuentran ubicados en el panel izquierdo, en la pestaña de Advanced Transfer.



En proceso Access

Se coloca el nombre de acceso, así como el de la faja (donde se detalla su velocidad), así como en nombre de la cola.

Access

Name: Access 1

Conveyor Name: Conveyor 1 # of Cells: 1

Queue Type: Queue

Queue Name: Access 1.Queue

OK Cancel Help

En proceso Convey (transporte)

Se coloca el nombre del transporte, así como el de la faja (donde se detalla su velocidad), así como la estación de destino.

Convey

Name: Convey 1

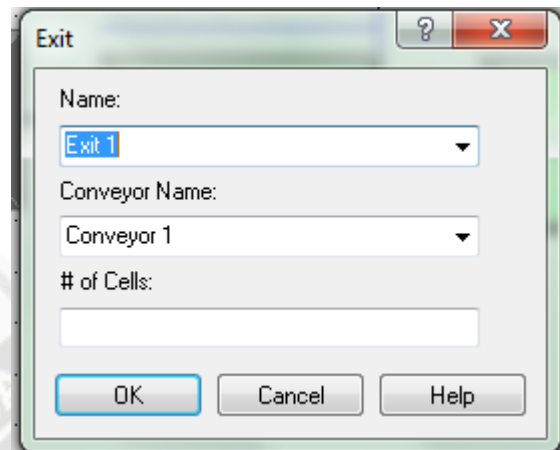
Conveyor Name: Conveyor 1

Destination Type: Station Station Name: Station 11

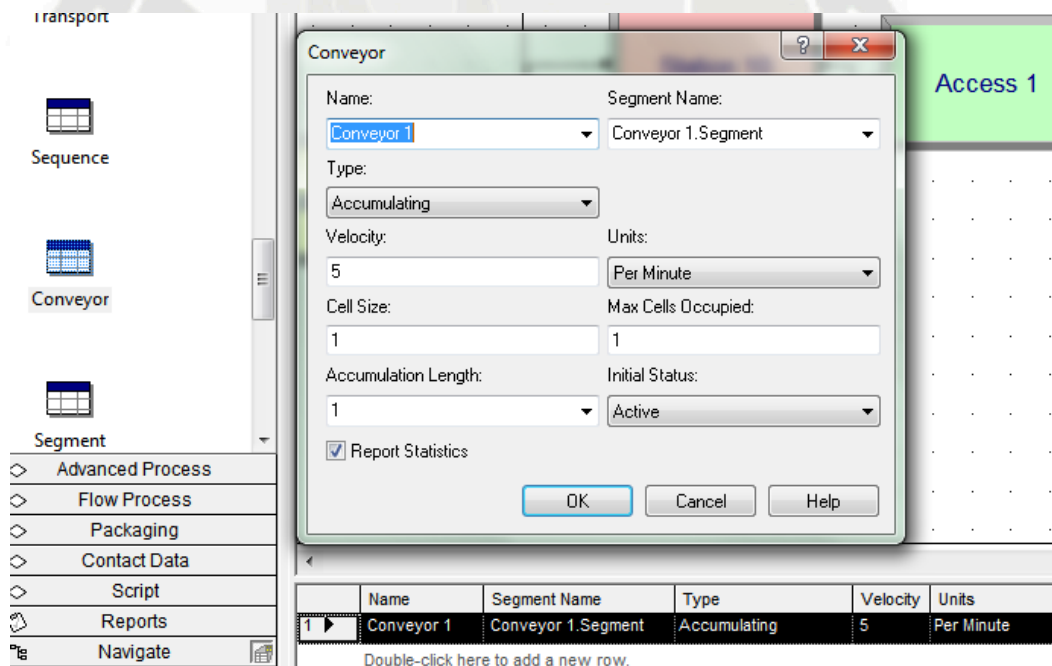
OK Cancel Help

En Proceso Exit

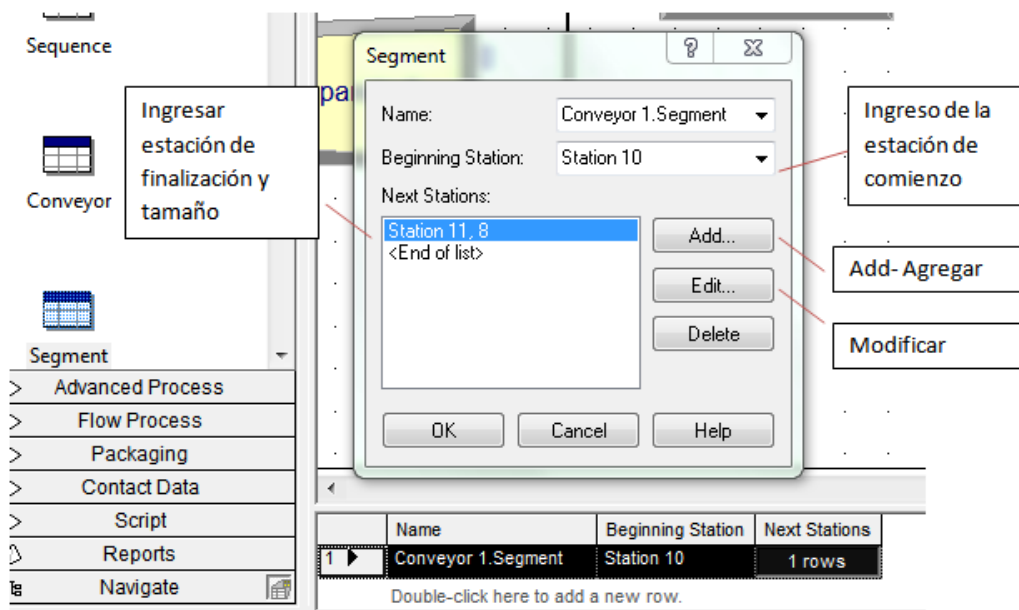
Se coloca el nombre de la salida del transporte, así como el nombre de la faja (donde se detalla su velocidad).



Para modificar la velocidad de la faja: En la pestaña de la izquierda en advanced transfer, se da click en la pestaña conveyor, y la zona inferior se da doble click para generar o modificar la velocidad de la faja.



Para modificar el tamaño de la faja: En la pestaña de la izquierda en advanced transfer, se da click en la pestaña segment, y la zona inferior se da doble click para generar o modificar el tamaño de la faja, si se quiere agregar una nueva, utilizar add, edit, para agregar una.

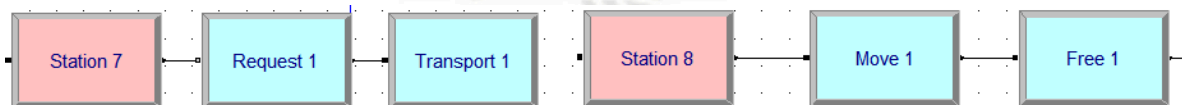


La longitud cuando se asigna la velocidad y el tamaño de la faja, guarda la misma proporción, ej. Todo está en metros, o todo está en kilómetros, no se puede mezclar.

- **Transporte mediante Patos mecánicos**

En la simulación se usa específicamente para pasar del proceso de ensacado al almacén.

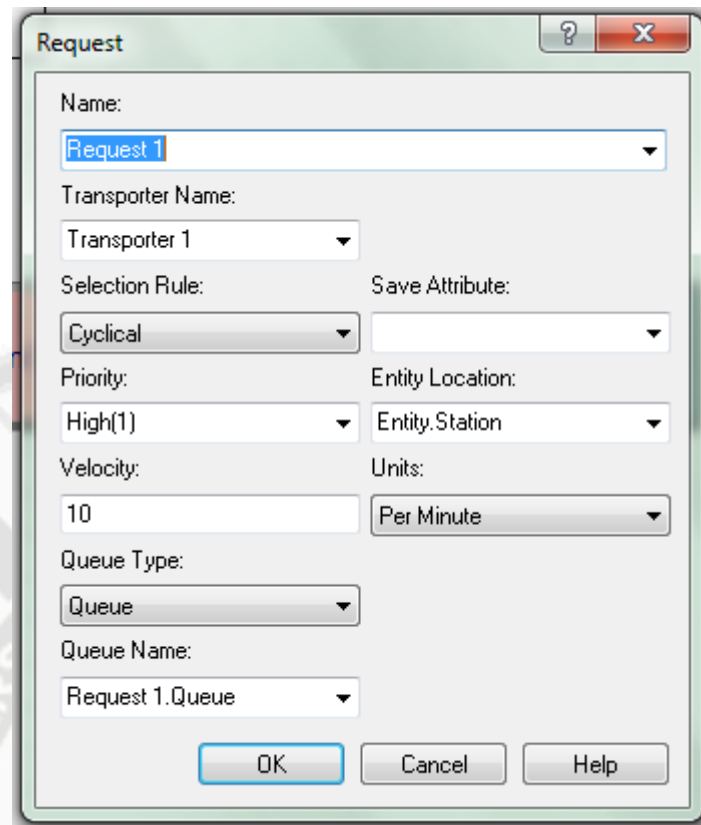
Para configurar un pato mecánico o montacargas se requieren de los siguientes elementos. Los cuales se encuentran ubicados en el panel izquierdo, en la pestaña de Advanced Transfer.



Para conocer o modificar sus características evaluaremos cada uno de los elementos.

En Proceso Request

Se coloca el nombre de la llamada, así como el nombre del montacargas, así como la velocidad a la que va el montacargas cuando esta vacío.



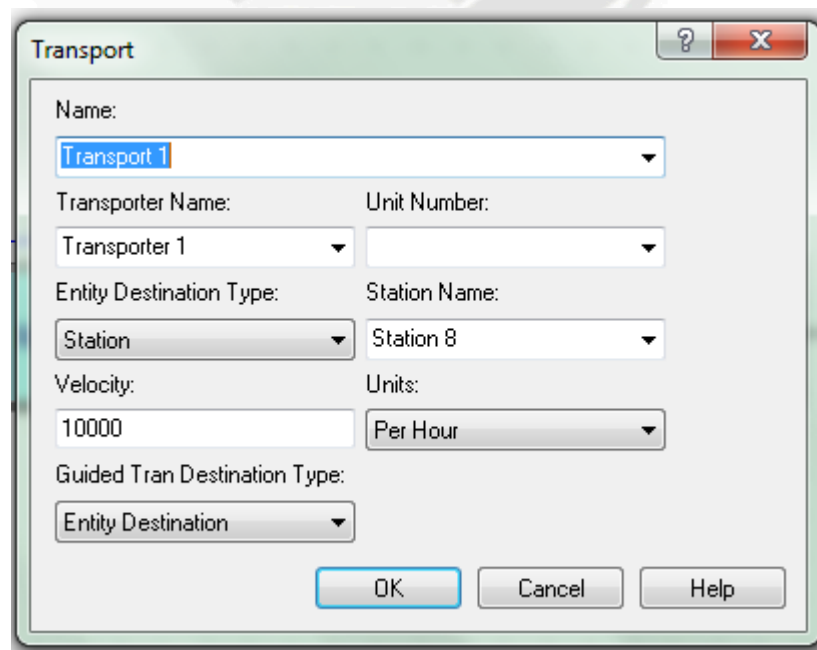
The 'Request' dialog box is used to configure a request entity. It contains the following fields:

- Name: Request 1
- Transporter Name: Transporter 1
- Selection Rule: Cyclical
- Save Attribute: (empty)
- Priority: High(1)
- Entity Location: Entity.Station
- Velocity: 10
- Units: Per Minute
- Queue Type: Queue
- Queue Name: Request 1.Queue

Buttons: OK, Cancel, Help

En Proceso Transport

Se coloca el nombre del transporte, así como el nombre del montacargas y la velocidad a la que va el montacargas cuando esta lleno.



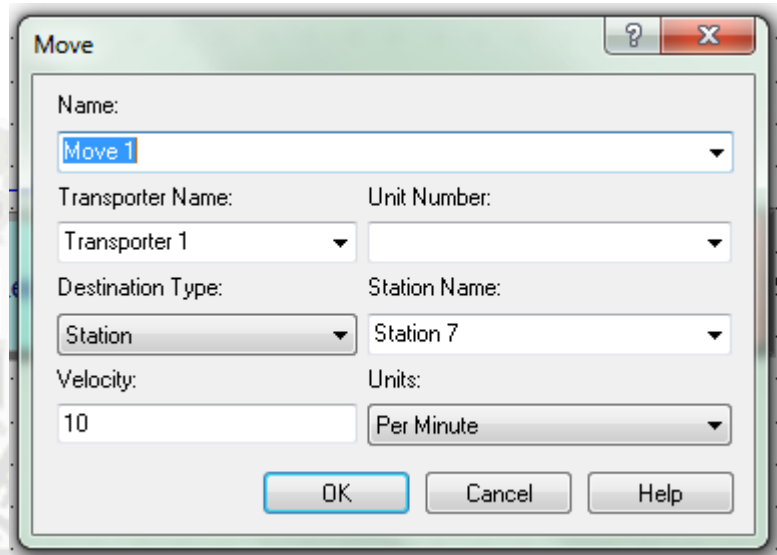
The 'Transport' dialog box is used to configure a transport entity. It contains the following fields:

- Name: Transport 1
- Transporter Name: Transporter 1
- Unit Number: (empty)
- Entity Destination Type: Station
- Station Name: Station 8
- Velocity: 10000
- Units: Per Hour
- Guided Tran Destination Type: Entity Destination

Buttons: OK, Cancel, Help

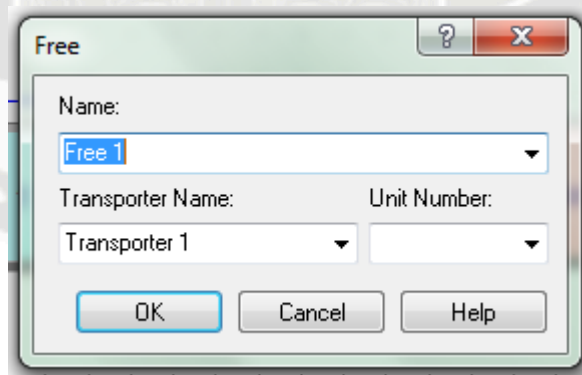
En Proceso Move

Se coloca el nombre del movimiento, así como el nombre del montacargas, así como la estación de destino del montacargas y la velocidad a la que va el montacargas cuando está vacío.

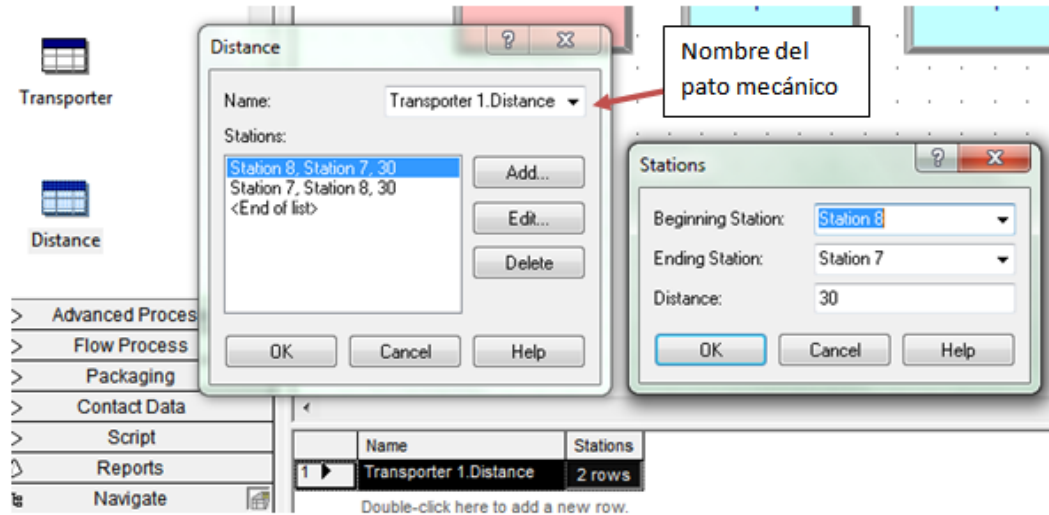


En Proceso Free

Se coloca únicamente el nombre del montacargas.



Para modificar el camino a recorrer por el montacargas: En la pestaña de la izquierda en advanced transfer, se da click en la pestaña distance, y la zona inferior se da doble click para generar o modificar el camino a recorrer de la faja.



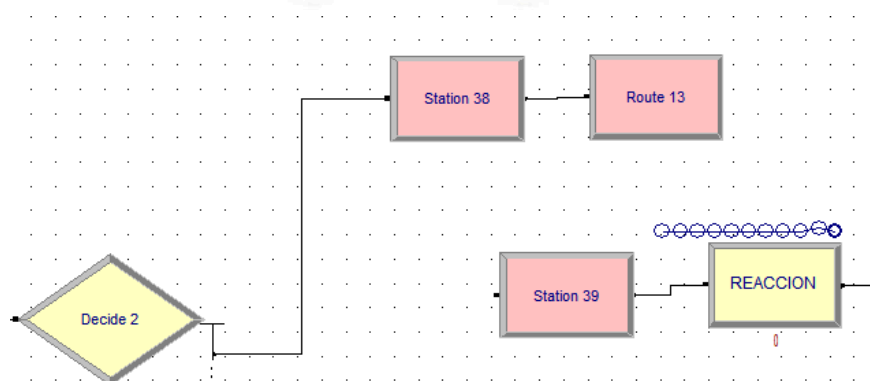
Animación

Dentro de la animación en el proceso de ácido bórico en Inkabor, se cuenta con 3 sistemas de transporte, los cuales detallaremos a continuación:

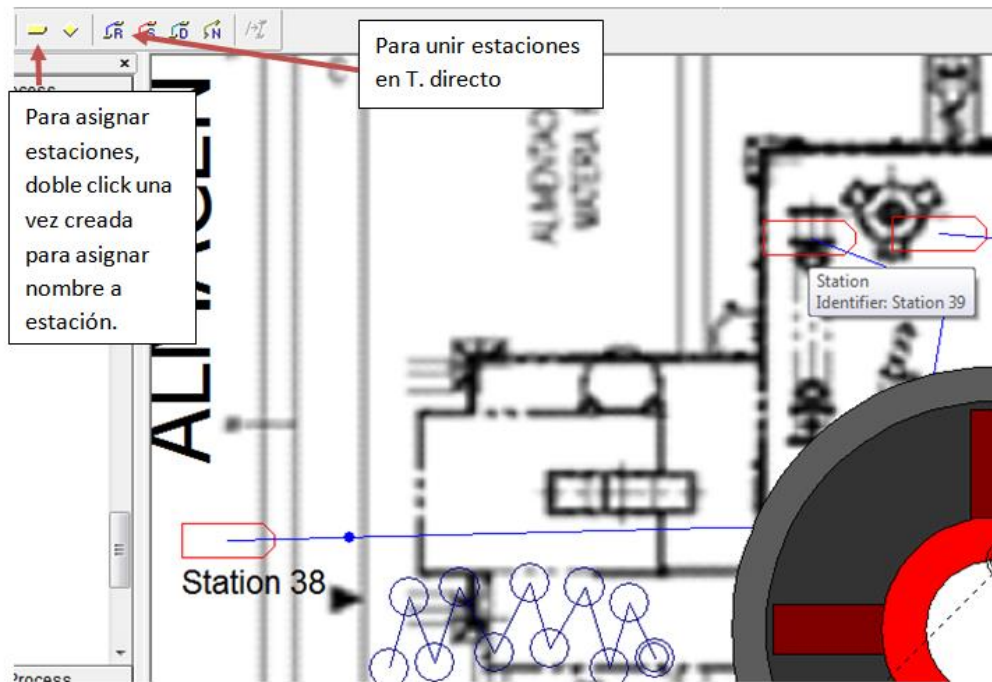
1. Transporte directo
2. Faja transportadora
3. Transporte mediante Patos mecánicos

- **Transporte directo**

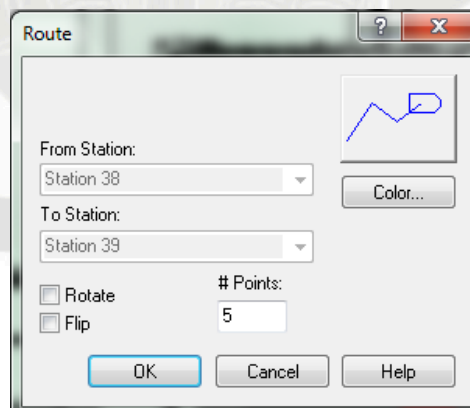
Del modelo de simulación dado por transporte directo, donde se utilizan 2 estaciones y 1 ruta, dentro del modelo, como en el transporte directo hacia el proceso de reacción.



En la animación, para crear:

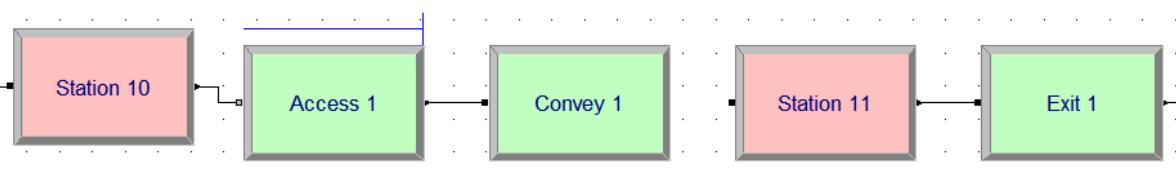


Doble click en la línea para asignar la estación de inicio y la de final, la ruta de la línea se maneja a selección propia.

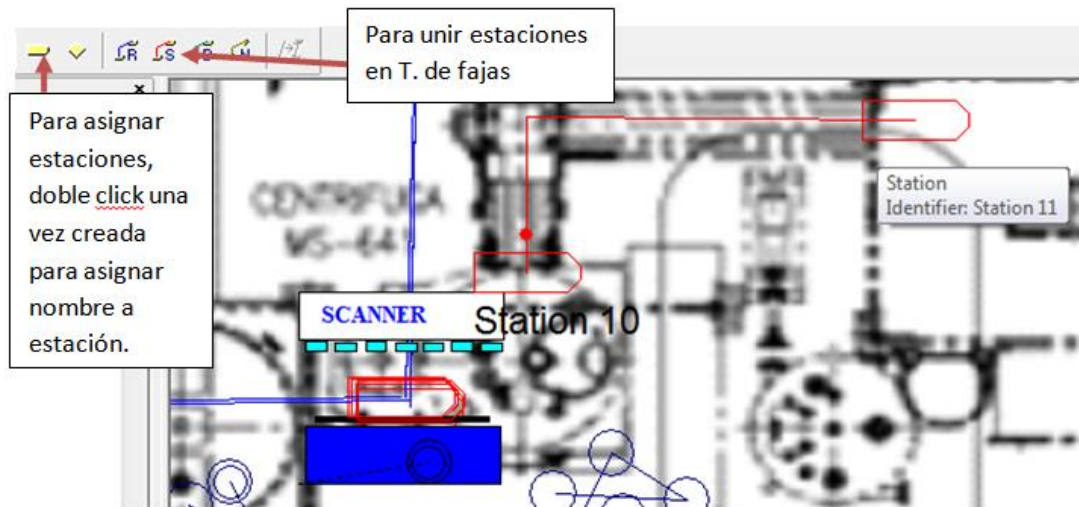


- **Faja transportadora**

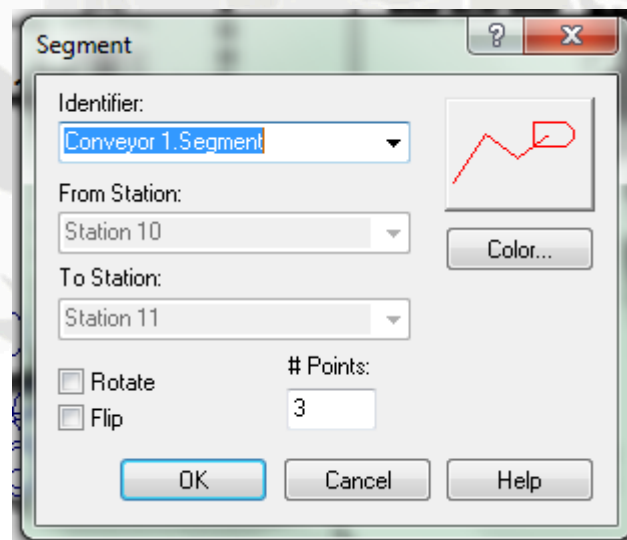
En la simulación se usa específicamente para pasar del proceso centrifugado al proceso de secado. Como a continuación se presenta en la captura de pantalla.



Para seleccionarlo y animarlo dentro del modelo de animación

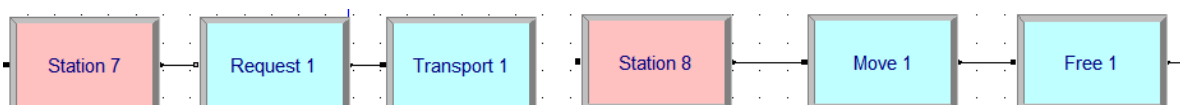


Doble click en la línea para asignar la estación de inicio y la de final, la ruta de la línea se maneja a selección propia. Así como también se identifica el transporte.

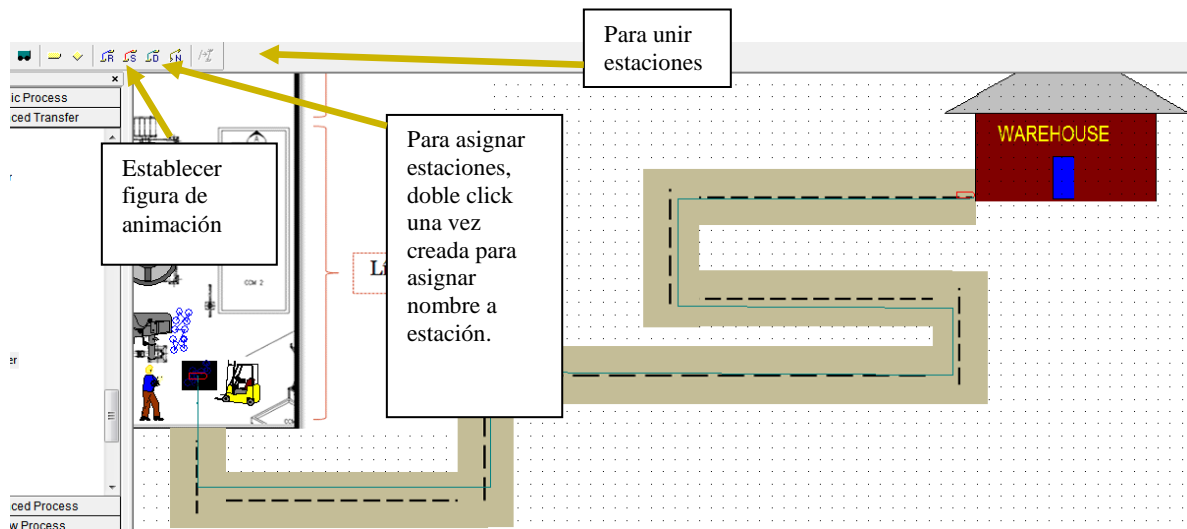


- **Transporte mediante Patos mecánicos**

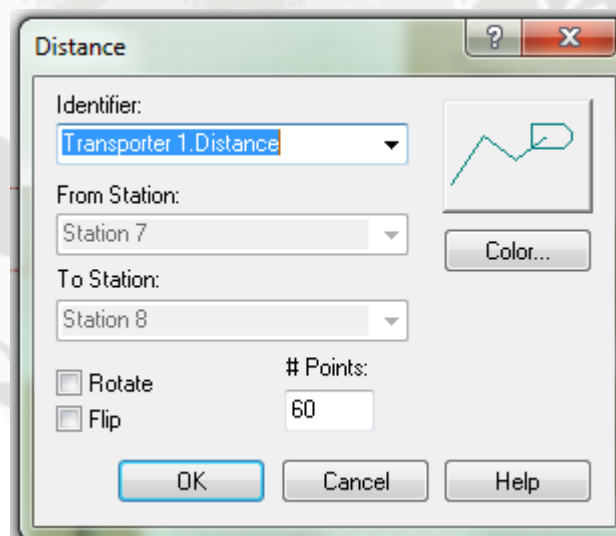
En la simulación se usa específicamente para pasar del proceso de ensacado al almacén. Como a continuación se presenta en la captura de pantalla.



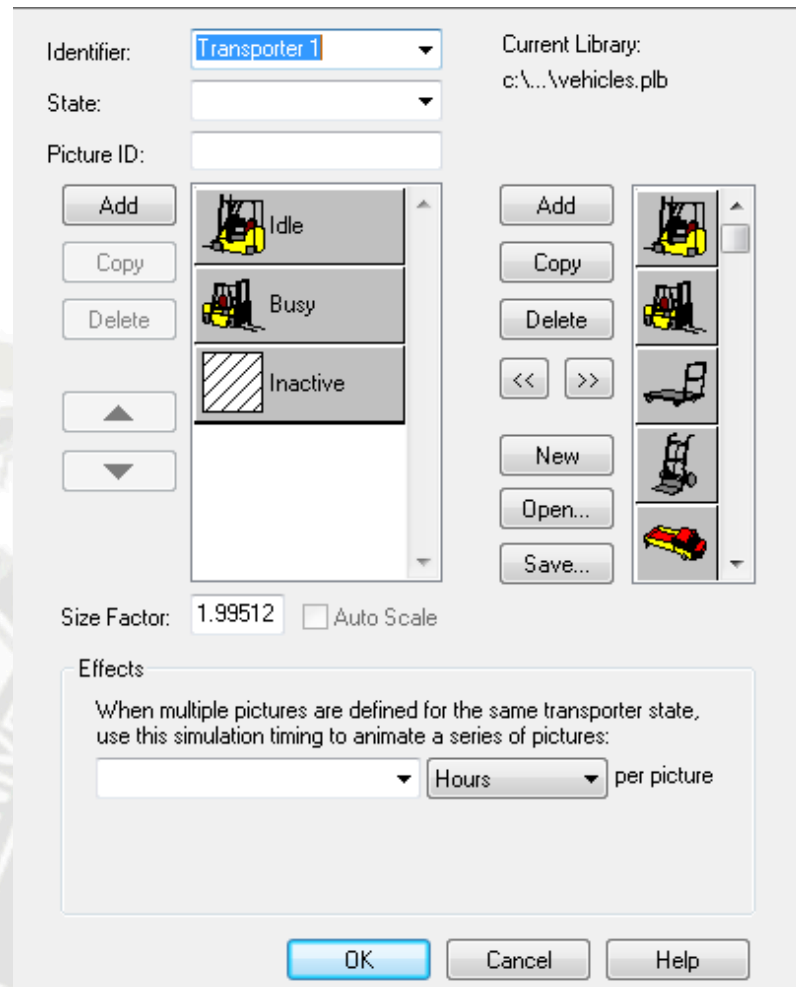
Para seleccionarlo y animarlo dentro del modelo de animación



Doble click en la línea para asignar la estación de inicio y la de final, la ruta de la línea se maneja a selección propia. Así como también se identifica el pato mecánico.



Al momento de asignar una figura al pato mecánico, se puede escoger de una variedad de figuras relacionadas a la industria, se le asigna una imagen en Idle (desocupado) o busy (ocupado). Y se selecciona ok para guardar cambios.



Corrida del modelo

Para corre el modelo, éste deberá estar listo.

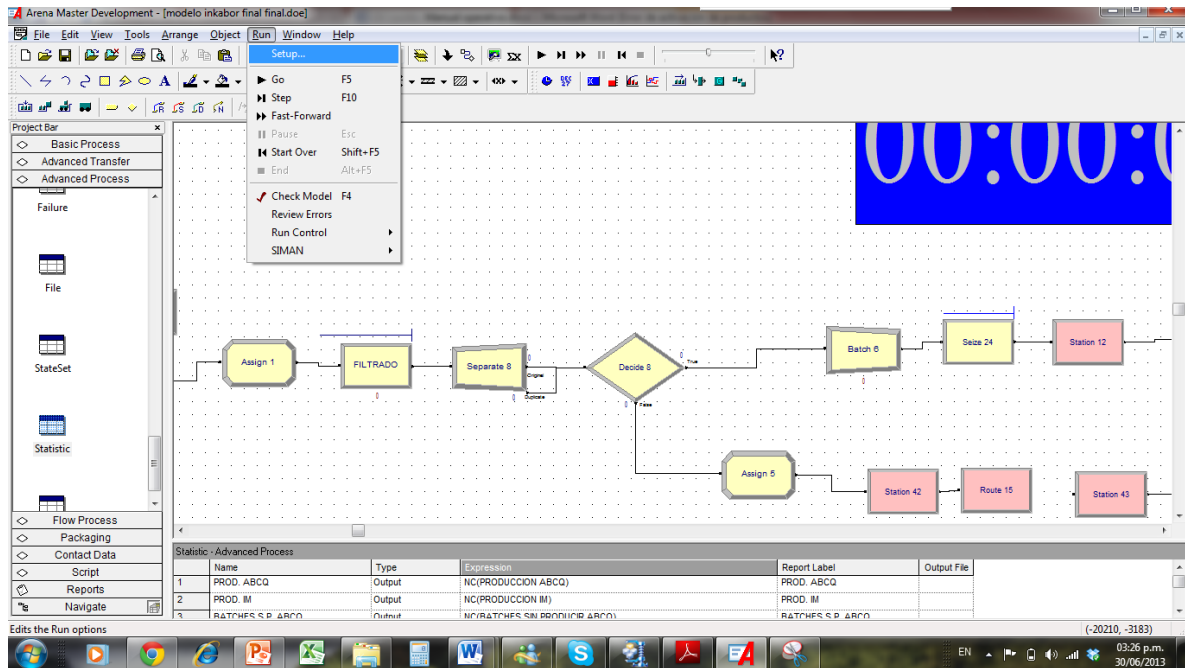
Una vez que esté listo se deberá pulsar el botón “play” de la barra:



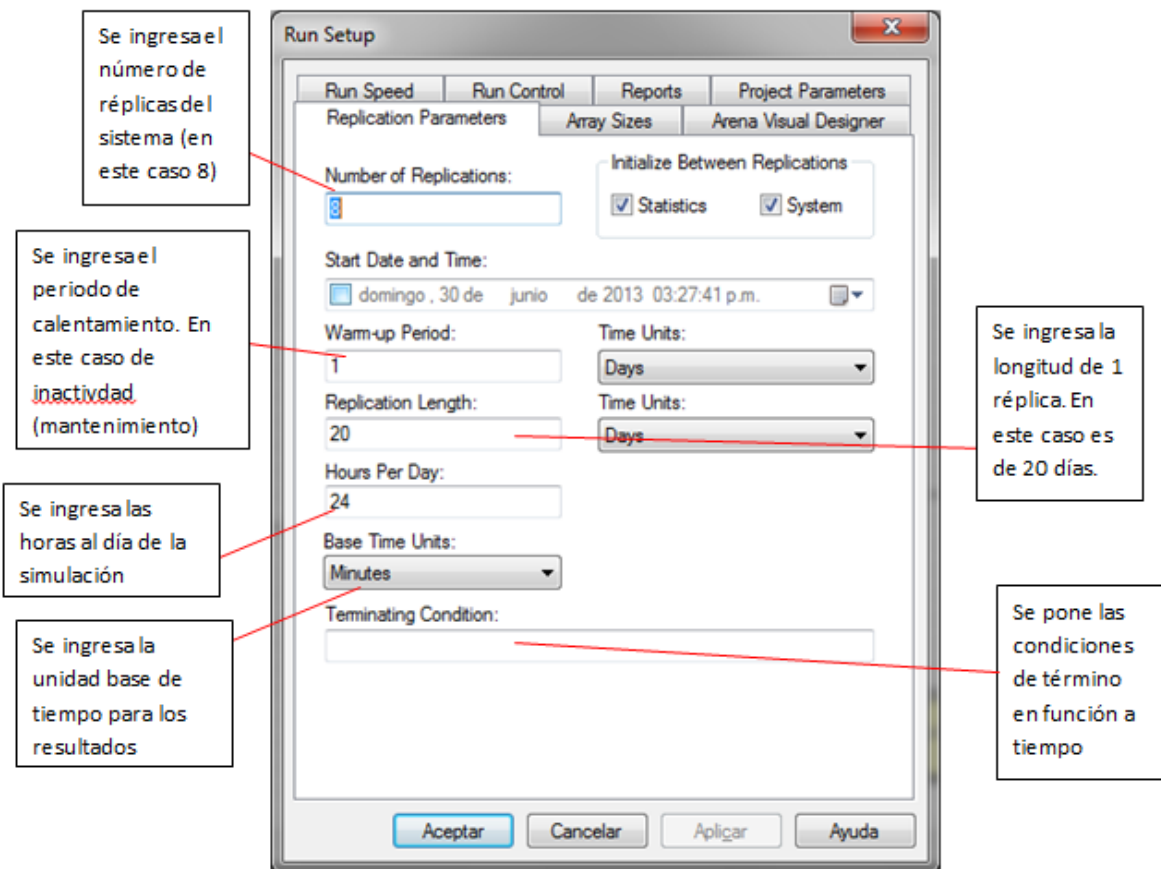
En donde se podrá también regular la velocidad de la corrida.

Run Setup

Para poder editar la corrida se deberá entrar a Run Setup siguiendo la siguiente ruta:

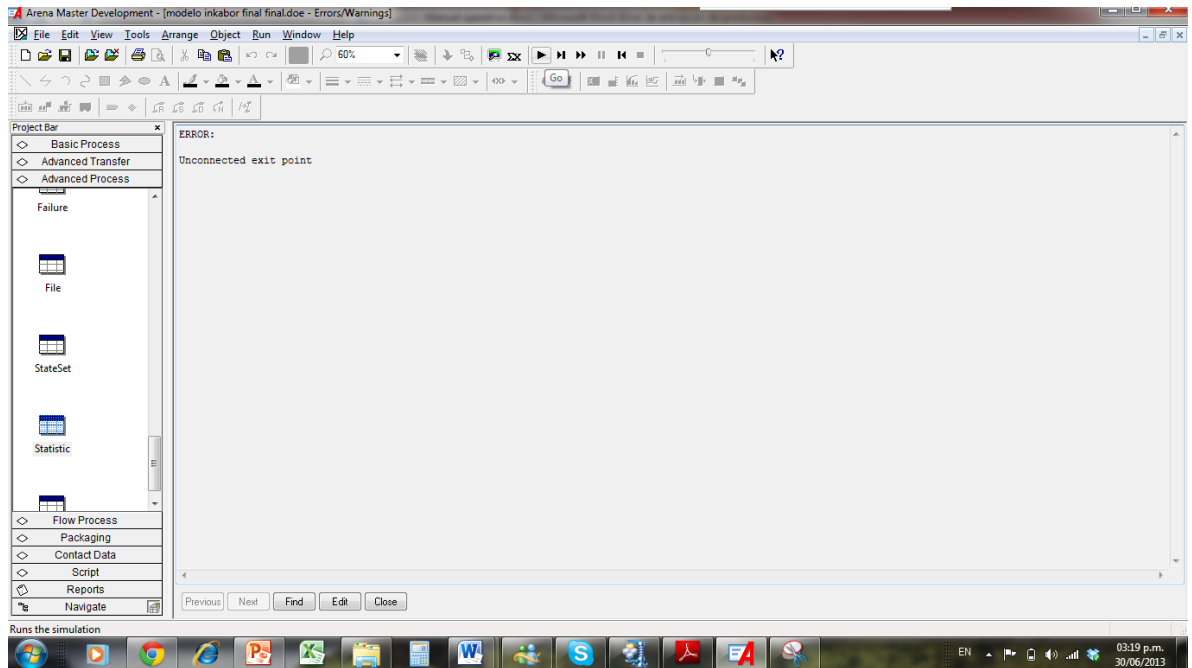


Se debe entrar a la pestaña “Replication Parameters”



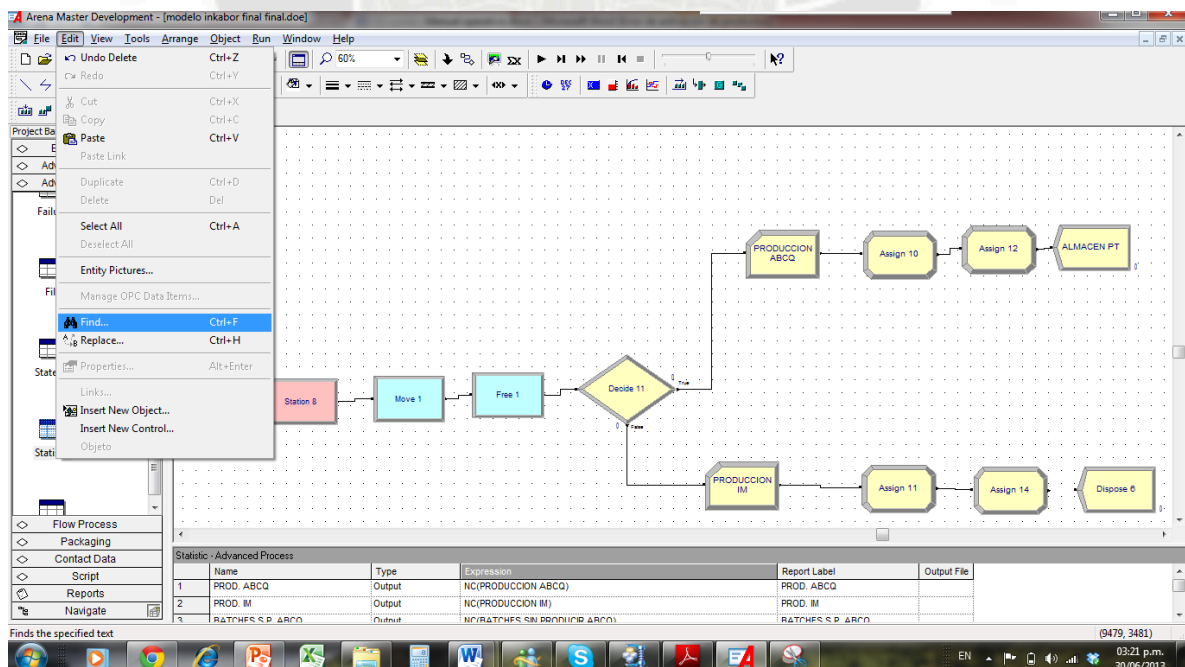
Nota:

Si una vez pulsado play aparece una pantalla de error como la siguiente:



Se deberá de pulsar los botones “Find” o “Edit” para poder corregir el error. En caso de no estar activados los botones se deberá de leer el texto que aparece en el “Error”

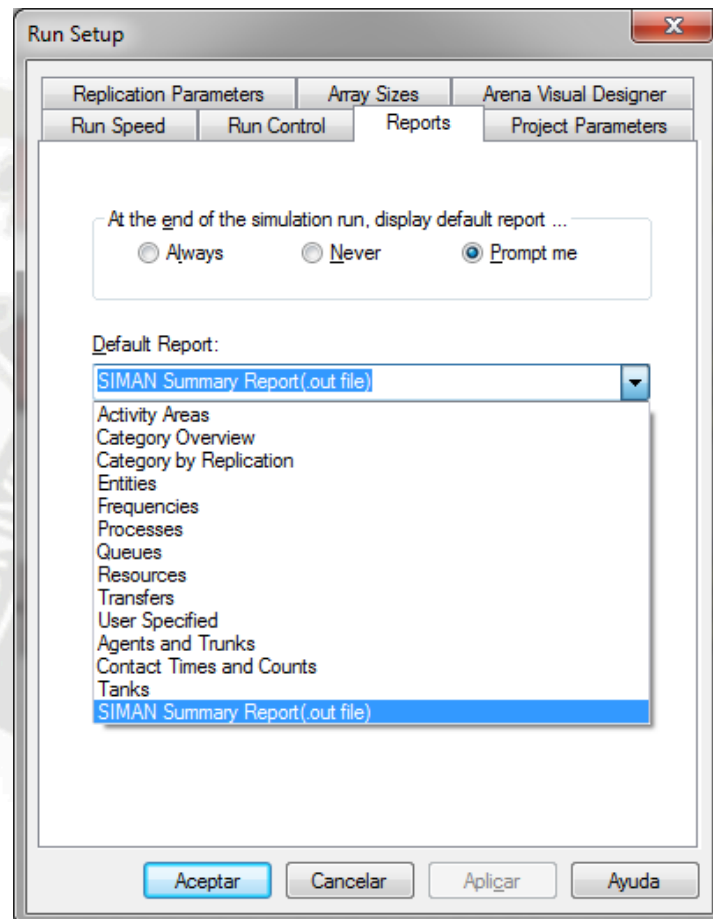
- En el caso que no se activen los botones FIND o EDIT se deberá de encontrar el error. Para esto se aconseja utilizar la herramienta “Find” del menú “Edit” para detectar la posible falla de acuerdo al texto.



1. Resultados

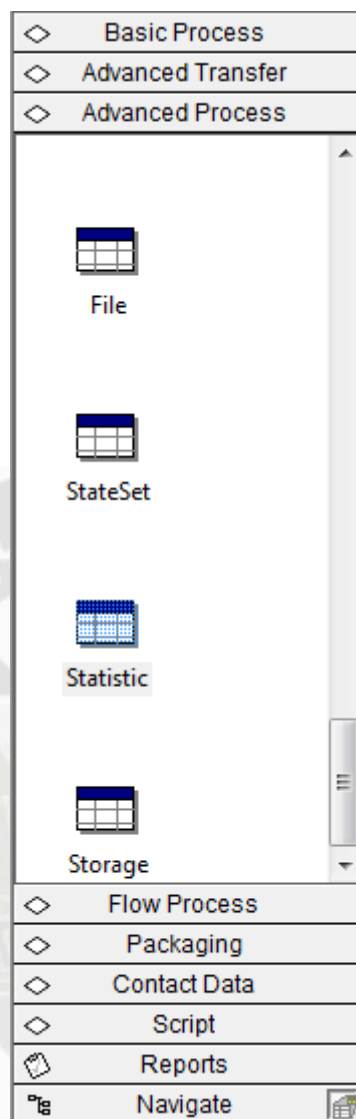
Para poder determinar los resultados que necesitamos para analizar y evaluar nuestro sistema necesitamos seguir los siguientes pasos:

Menú Run: Run Setup. Entrar a la pestaña Reports:

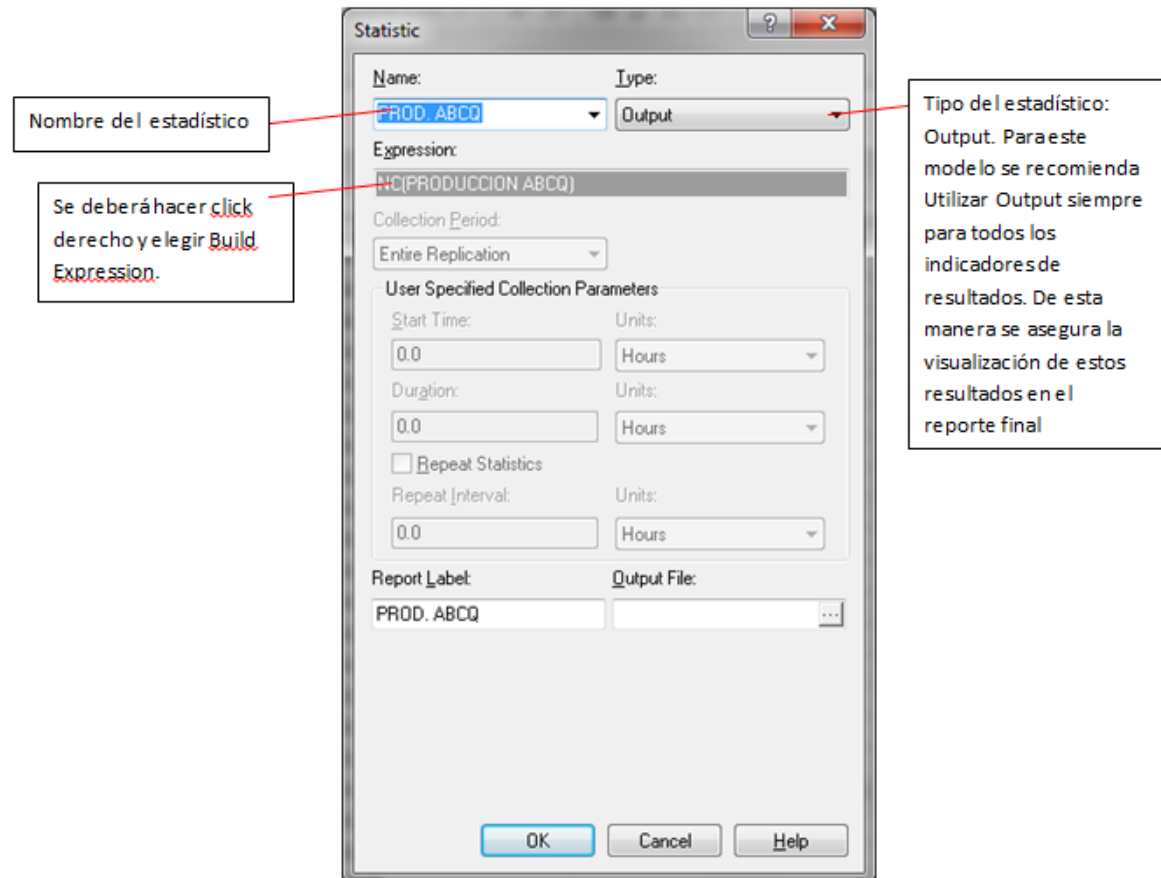


Activar “Siman Summary report (out file)” en “Default Report”.

Luego se deberá entrar a la barra de proyecto: “Advanced Process”. Y hacer click en Statistic



Luego se deberá hacer doble click en agregar un “statistic”. Click derecho y luego “Edit via Dialog”



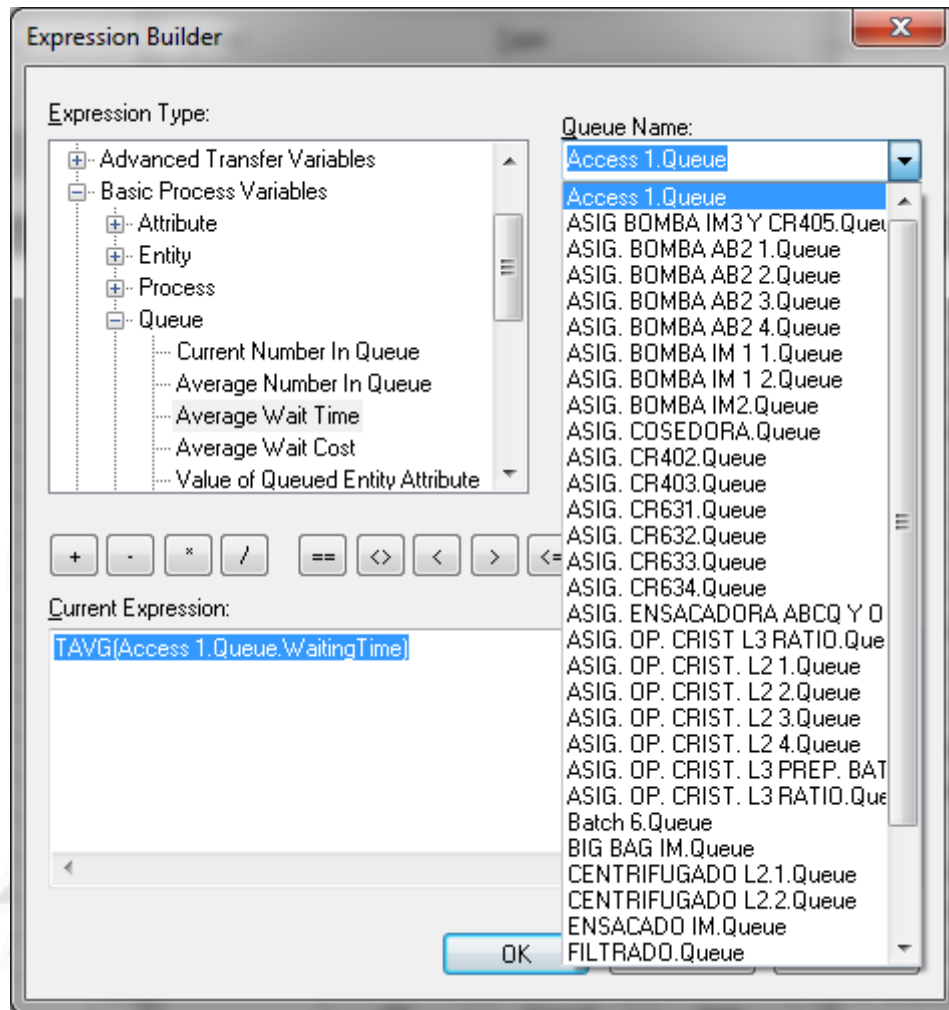
Build Expression

Se podrá determinar 2 tipos de indicadores de resultados especiales para este modelo:

- Tiempo de cola promedio
- Contadores (Record)
- Utilidad

Para Tiempos de cola promedio

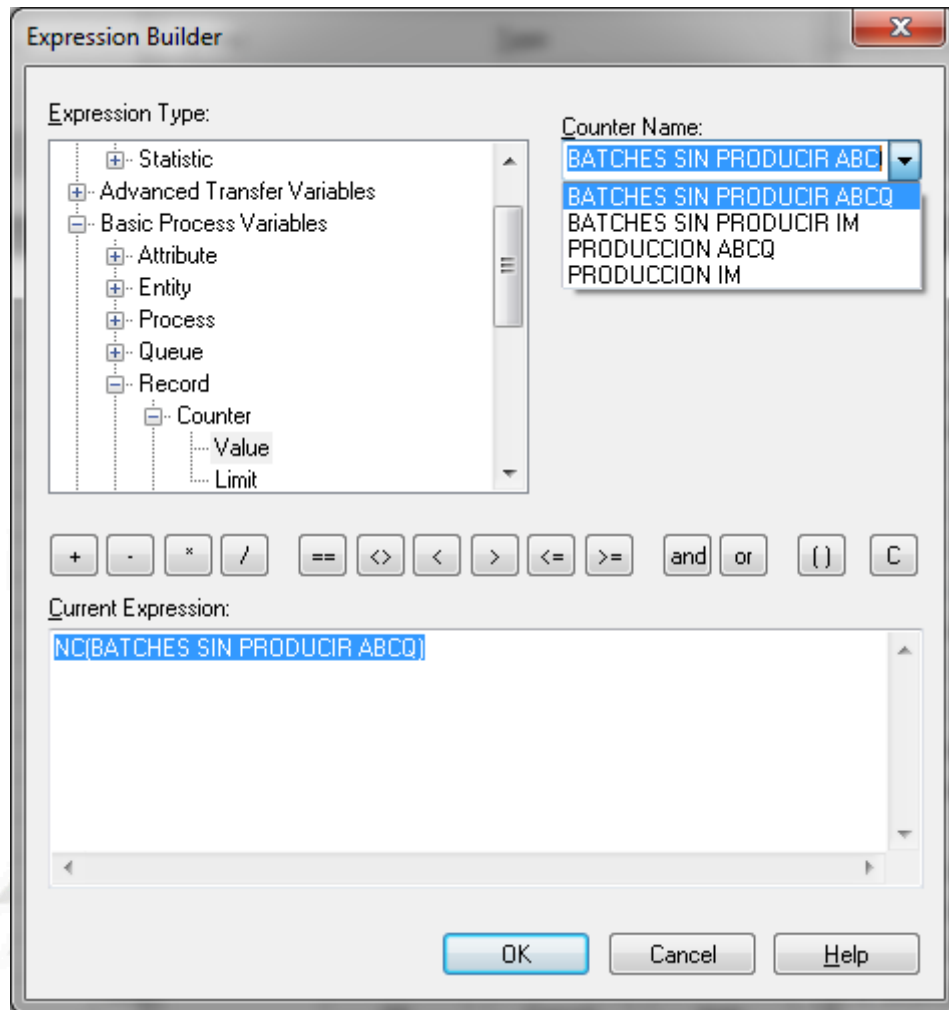
Se deberá ir a “Basic Process Variables” – “Queue” – Average Wait Time



En “Queue Name” elegir el proceso del que se quiere determinar el tiempo promedio en cola para que aparezca en el Reporte final. Se le da OK a todo.

Para Contadores (Records)

Se deberá ir a “Basic Process Variables” – “Record” – “Counter” – “Value”



En "Counter Name" se deberá elegir el Record que se quiere usar como indicador de resultado para que aparezca en el Reporte final. Se le da OK a todo.

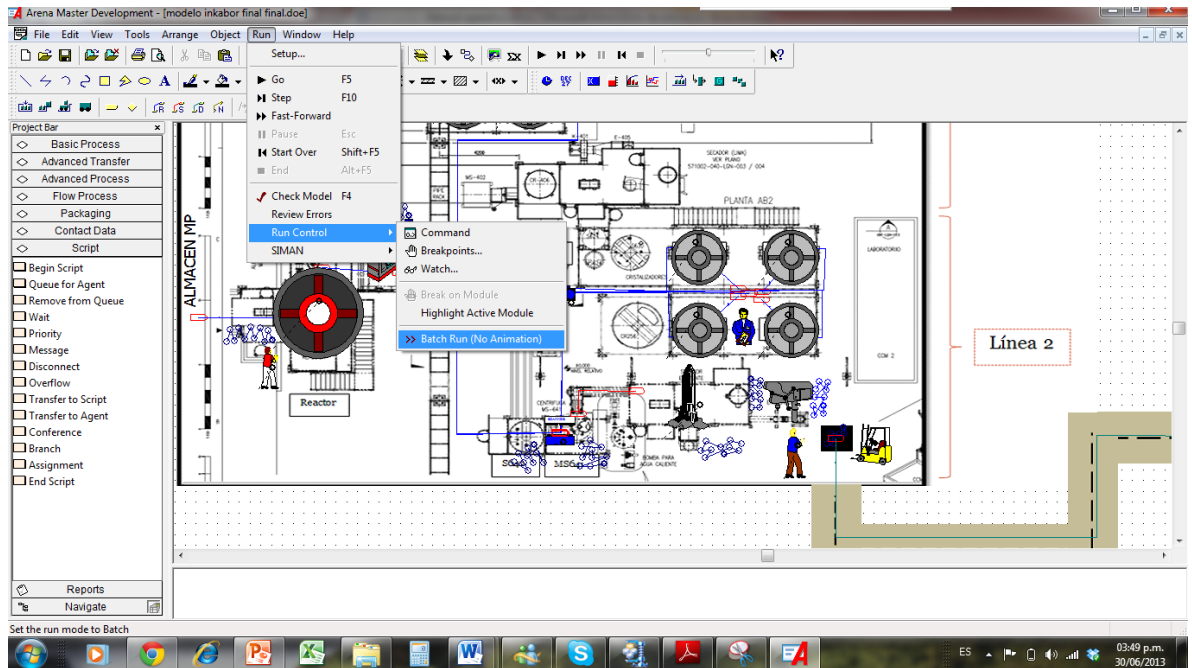
Para utilidad

Se sigue el mismo procedimiento pero en Expression se hace referencia al Assign 15 (variable utilidad) Lo mismo se puede realizar con todas las variables y atributos asignados.

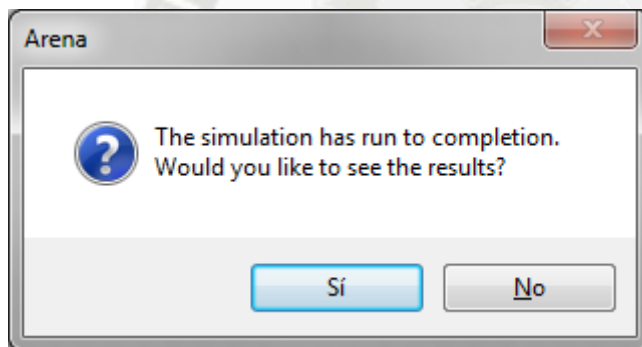
Para el presente sistema se plantea los siguientes indicadores de resultados (estadísticos):

Statistic - Advanced Process					
	Name	Type	Expression	Report Label	Output File
1	PROD. ABCQ	Output	NC(PRODUCCION ABCQ)	PROD. ABCQ	
2	PROD. IM	Output	NC(PRODUCCION IM)	PROD. IM	
3	BATCHES S.P. ABCQ	Output	NC(BATCHES SIN PRODUCIR ABCQ)	BATCHES S.P. ABCQ	
4	BATCHES S.P. IM	Output	NC(BATCHES SIN PRODUCIR IM)	BATCHES S.P. IM	
5	T.C. REACCION	Output	TAVG(REACCION.Queue.WaitingTime)	T.C. REACCION	
6	T.C. FILTRADO	Output	TAVG(FILTRADO.Queue.WaitingTime)	T.C. FILTRADO	
7	T.C. CR631	Output	TAVG(ASIG. CR631.Queue.WaitingTime)	T.C. CR631	
8	T.C. CR632	Output	TAVG(ASIG. CR632.Queue.WaitingTime)	T.C. CR632	
9	T.C. CR633	Output	TAVG(ASIG. CR633.Queue.WaitingTime)	T.C. CR633	
10	T.C. CR634	Output	TAVG(ASIG. CR634.Queue.WaitingTime)	T.C. CR634	
11	T.C. BOMBA IM3 Y CR405	Output	TAVG(ASIG BOMBA IM3 Y CR405.Queue.WaitingTime)	T.C. BOMBA IM3 Y CR405	
12	T.C. CR402	Output	TAVG(ASIG. CR402.Queue.WaitingTime)	T.C. CR402	
13	T.C. CR403	Output	TAVG(ASIG. CR403.Queue.WaitingTime)	T.C. CR403	
14	T.C. CENTRIFUGADO L2.1	Output	TAVG(CENTRIFUGADO L2.1.Queue.WaitingTime)	T.C. CENTRIFUGADO L2.1	
15	T.C. CENTRIFUGADO L2.2	Output	TAVG(CENTRIFUGADO L2.2.Queue.WaitingTime)	T.C. CENTRIFUGADO L2.2	
16	T.C. FAJA	Output	TAVG(Access 1.Queue.WaitingTime)	T.C. FAJA	
17	T.C. SECADO	Output	TAVG(SECADO.Queue.WaitingTime)	T.C. SECADO	
18	T.C. COCIDO	Output	TAVG(ASIG. COSEDORA.Queue.WaitingTime)	T.C. COCIDO	
19	T.C. ENSACADO ABCQ	Output	TAVG(ASIG. ENSACADORA ABCQ Y OP. ENSAC. L2.Queue.WaitingTime)	T.C. ENSACADO ABCQ	
20	T.C. ENSACADO IM	Output	TAVG(BIG BAG IM.Queue.WaitingTime)	T.C. ENSACADO IM	
21	T.C. MONTACARGA	Output	TAVG(Request 1.Queue.WaitingTime)	T.C. MONTACARGA	
22	UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	Output	UTILIDAD	UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	...

Nota: Si no desea ver la animación de la corrida del modelo se deberá activar el siguiente menú: Luego deberá poner “Play”



Al final de la simulación saldrá un recuadro en donde se le deberá poner que sí.



Al final aparecerá un reporte en donde aparecerá los indicadores de resultados por default y los que se agregaron en los estadísticos. Esta información saldrá réplica por réplica y al final aparecerá un resumen de las 8 réplicas.

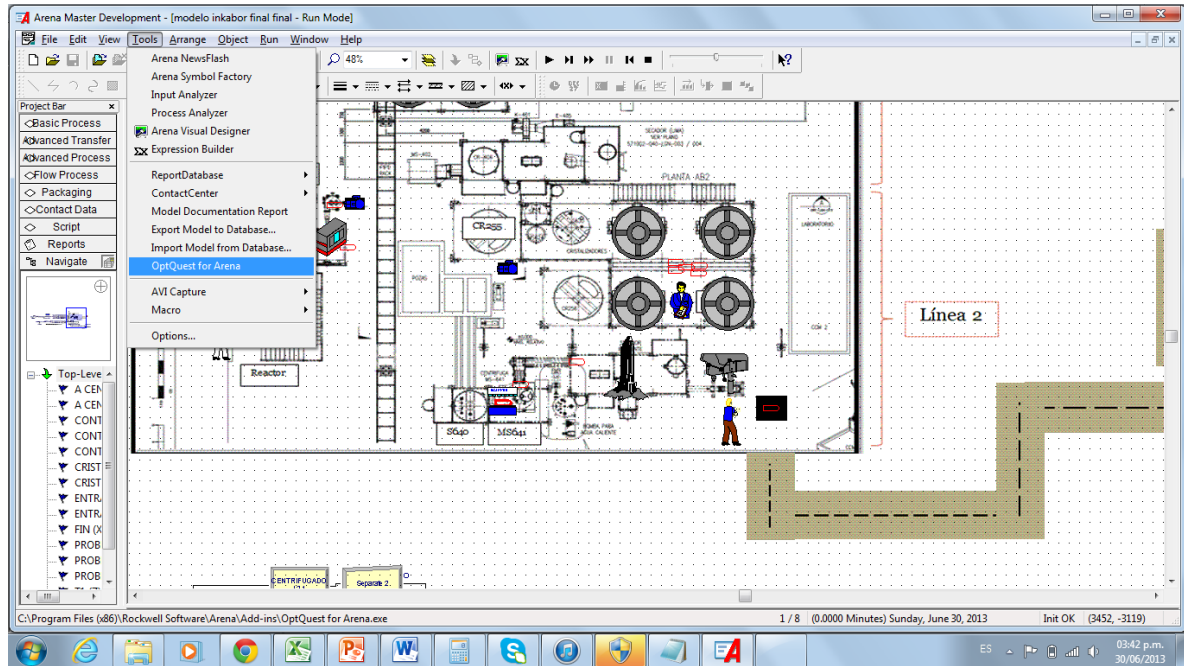
TALLY VARIABLES					
Identifíer	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
PULPA IM.VATime	--	--	--	--	0
PULPA IM.NVATime	--	--	--	--	0
PULPA IM.WaitTime	--	--	--	--	0
PULPA IM.TranTime	--	--	--	--	0
PULPA IM.OtherTime	--	--	--	--	0
PULPA IM.TotalTime	--	--	--	--	0
ACIDO BORICO CQ.VATime	724.75	(Insuf)	530.17	1175.1	227
ACIDO BORICO CQ.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	227
ACIDO BORICO CQ.WaitTime	1.7109E+05	(Insuf)	9261.1	3.2774E+05	227
ACIDO BORICO CQ.TranTime	197.64	(Insuf)	166.67	280.93	227
ACIDO BORICO CQ.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	227
ACIDO BORICO CQ.TotalTime	3638.0	(Insuf)	768.45	6383.4	227
INKABOR META.VATime	254.36	(Insuf)	75.125	1336.5	167
INKABOR META.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	167
INKABOR META.WaitTime	3564.3	(Insuf)	1020.8	30899.	167
INKABOR META.TranTime	82.665	(Insuf)	67.180	172.71	167
INKABOR META.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	167
INKABOR META.TotalTime	351.49	(Insuf)	66.511	1411.6	167
PULPA AB.VATime	--	--	--	--	0
PULPA AB.NVATime	--	--	--	--	0
PULPA AB.WaitTime	--	--	--	--	0
PULPA AB.TranTime	--	--	--	--	0
PULPA AB.OtherTime	--	--	--	--	0
PULPA AB.TotalTime	--	--	--	--	0
MP AB.VATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	91
MP AB.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	91
MP AB.WaitTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	91
MP AB.TranTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	91
MP AB.OtherTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	91
MP AB.TotalTime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	91
Entity 1.VATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	1
Entity 1.NVATime	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	1

OUTPUTS					
Identifíer	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
T.C.SECADO	8.8722	.39230	8.4383	9.9545	8
T.C.CENTRIFUGADO L2.2	128.00	2.7231	122.91	133.34	8
T.C.CR632	246.99	13.291	220.15	262.92	8
T.C.BOMBA IM3 Y CR405	.00000	.00000	.00000	.00000	8
T.C.CR403	.00000	.00000	.00000	.00000	8
T.C.MONTACARGA	.03528	.01282	.02087	.06860	8
T.C.CENTRIFUGADO L2.1	91.667	3.0736	86.351	96.150	8
T.C.COCCIO	.00000	.00000	.00000	.00000	8
T.C.CR631	274.20	4.8392	264.19	281.85	8
T.C.ENSACADO ABCQ	2798.8	23.312	2741.7	2824.4	8
T.C.FAJA	.90002	3.7111E-05	.90000	.90010	8
T.C.CR634	110.65	14.843	84.906	131.02	8
T.C.CR402	.00000	.00000	.00000	.00000	8
PROD. IM	163.75	3.9155	156.00	170.00	8
PROD. ABCQ	227.87	.29563	227.00	228.00	8
T.C. REACCION	.00000	.00000	.00000	.00000	8
BATCHES S. P. ABCQ	91.375	3.3427	86.000	98.000	8
T.C. CR633	226.65	18.725	190.85	247.85	8
BATCHES S. P. IM	.00000	.00000	.00000	.00000	8
T.C. FILTRADO	.00000	.00000	.00000	.00000	8
UTILIDAD MENSUAL PROMEDIO	1777.9	1266.1	15061.	19307.	8
T.C.ENSACADO IM	67.157	1.9124	65.604	72.384	8
PULPA IM. NumberIn	28.625	.62212	28.000	30.000	8
PULPA IM. NumberOut	28.375	.62212	27.000	29.000	8
ACIDO BORICO CQ. NumberIn	17267.	59.408	17174.	17363.	8
ACIDO BORICO CQ. NumberOut	13900.	18.033	13847.	13908.	8
INKABOR META. NumberIn	6708.0	161.28	6375.0	6948.0	8
INKABOR META. NumberOut	6713.7	160.53	6396.0	6970.0	8
PULPA AB. NumberIn	6862.1	36.854	6785.0	6906.0	8
PULPA AB. NumberOut	5928.1	34.502	5863.0	5977.0	8

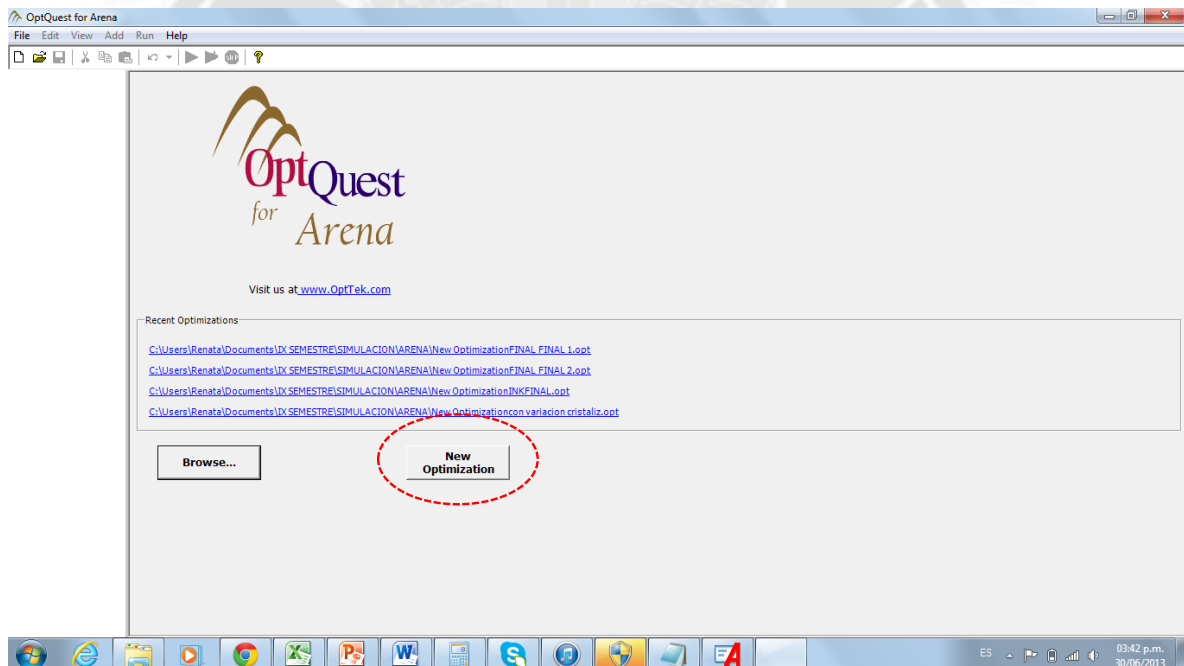
Se deberá tomar en cuenta el valor Half-width de los indicadores de resultados, el cual deberá ser muy pequeño en comparación con el valor “Average”, de lo contrario se deberá ampliar la longitud de réplica o el número de réplicas

OPTIMIZACION

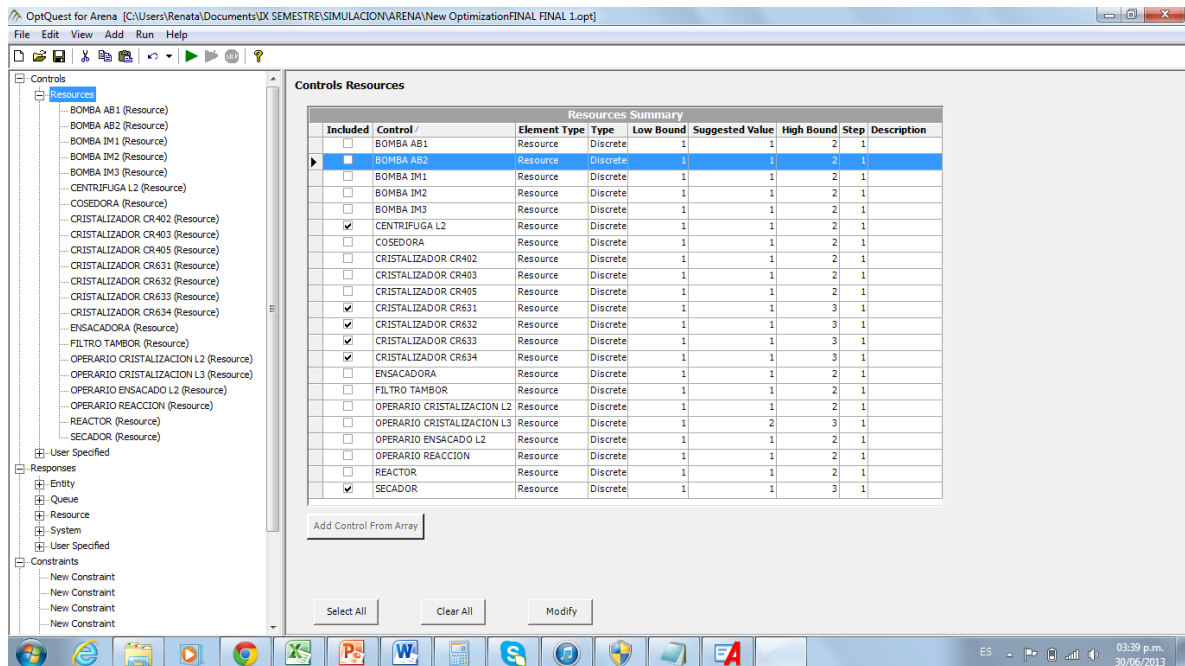
1. Debemos ingresar al menú Tools/OptQuest for Arena.



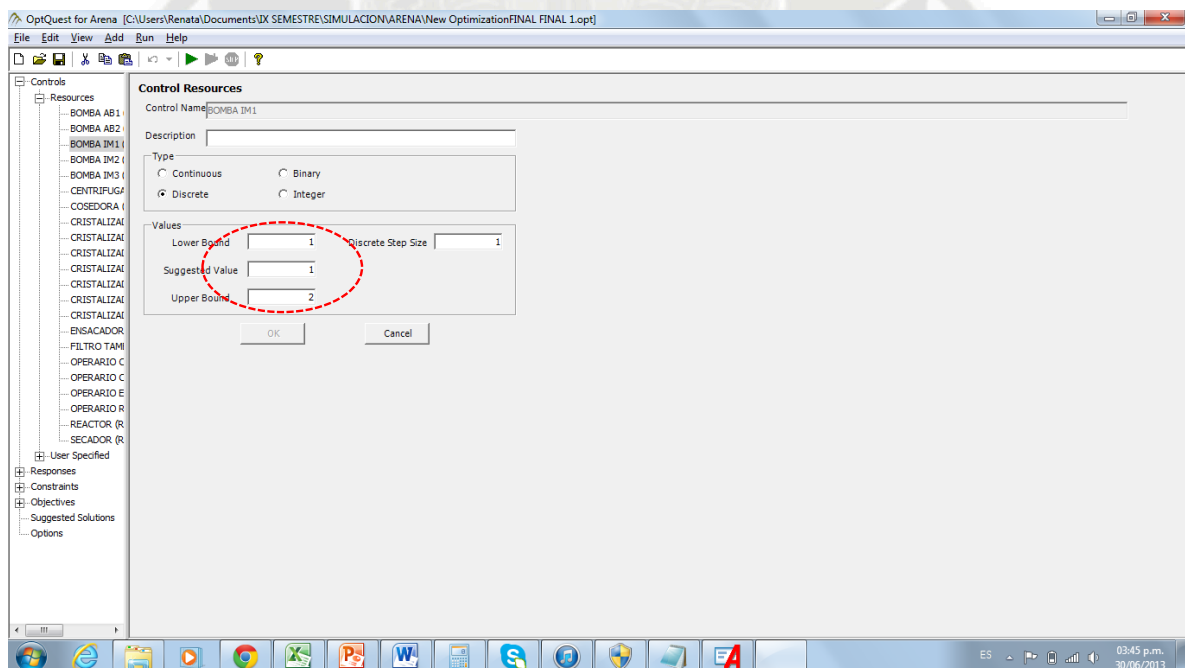
2. Colocar New Optimization



3. Una vez que estamos en la herramienta debemos seleccionar los recursos que queremos que la herramienta optimize en Controls/Resources



4. Luego hay que modificar cada uno de los recursos de acuerdo al valor máximo permitido, así como el valor mínimo y el valor sugerido.



5. Luego vamos a Responses y debemos seleccionar las variables (utilidad, utilización, tiempo de espera en cola, etc) que queremos colocar tanto en las restricciones como en la función objetivo

The screenshot displays the OptQuest for Arena interface. The main window shows the 'Responses' dialog box, which is used to define response variables for the optimization. The 'Responses' dialog has a tree view on the left showing the hierarchy of resources and responses. The 'Responses' tree is expanded, showing 'Entity', 'Queue', 'Resource', 'System', 'User Specified', 'Constraints', 'Objectives', and 'Suggested Solutions'. The 'Entity' category is selected, and the 'Waiting Time' variable is highlighted. The 'Responses Queue Waiting Time' dialog box is also visible, showing a list of waiting time variables for different entities and resources. The 'Waiting Time' category is selected, and the 'Waiting Time' variable is highlighted. The 'Responses Queue Waiting Time' dialog box is also visible, showing a list of waiting time variables for different entities and resources.

Included	Category	Data Type	Response /	Response Type
<input checked="" type="checkbox"/>	Entity	Number In	ACIDO BORICO CQ.NumberIn	Output Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Number Out	ACIDO BORICO CQ.NumberOut	Output Value
<input type="checkbox"/>	Entity	NVA Time	ACIDO BORICO CQ.NVA Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Other Time	ACIDO BORICO CQ.OtherTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Total Time	ACIDO BORICO CQ.TotalTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Transfer Time	ACIDO BORICO CQ.TranTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	VA Time	ACIDO BORICO CQ.VA Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Wait Time	ACIDO BORICO CQ.WaitTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	WIP	ACIDO BORICO CQ.WIP	DStat Average
<input type="checkbox"/>	Entity	Number In	BARRO.NumberIn	Output Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Number Out	BARRO.NumberOut	Output Value
<input type="checkbox"/>	Entity	NVA Time	BARRO.NVA Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Other Time	BARRO.OtherTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Total Time	BARRO.TotalTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Transfer Time	BARRO.TranTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	VA Time	BARRO.VA Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Wait Time	BARRO.WaitTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	WIP	BARRO.WIP	DStat Average
<input type="checkbox"/>	Entity	Number In	Entity 1.NumberIn	Output Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Number Out	Entity 1.NumberOut	Output Value
<input type="checkbox"/>	Entity	NVA Time	Entity 1.NVA Time	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Other Time	Entity 1.OtherTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Total Time	Entity 1.TotalTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	Transfer Time	Entity 1.TranTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Entity	VA Time	Entity 1.VA Time	Tally Value

The 'Responses Queue Waiting Time' dialog box is also visible, showing a list of waiting time variables for different entities and resources. The 'Waiting Time' category is selected, and the 'Waiting Time' variable is highlighted. The 'Responses Queue Waiting Time' dialog box is also visible, showing a list of waiting time variables for different entities and resources.

Included	Response /	Response Type
<input checked="" type="checkbox"/>	Access 1.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA IM3 Y CR405.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA AB2 1.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA AB2 2.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA AB2 3.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA AB2 4.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA IM 1.1.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA IM 1.2.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.BOMBA IM2.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input checked="" type="checkbox"/>	ASIG.COSEDORA.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.CR402.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.CR403.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.CR631.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.CR632.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.CR633.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.CR634.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input checked="" type="checkbox"/>	ASIG.ENSACADORA ABCQ Y OP.ENSAC.L2.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST L3 RATIO.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST.L2 1.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST.L2 2.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST.L2 3.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST.L2 4.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST.L3 PREP.BATCH.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	ASIG.OP.CRIST.L3 RATIO.Queue.WaitingTime	Tally Value
<input type="checkbox"/>	Batch 6.Queue.WaitingTime	Tally Value

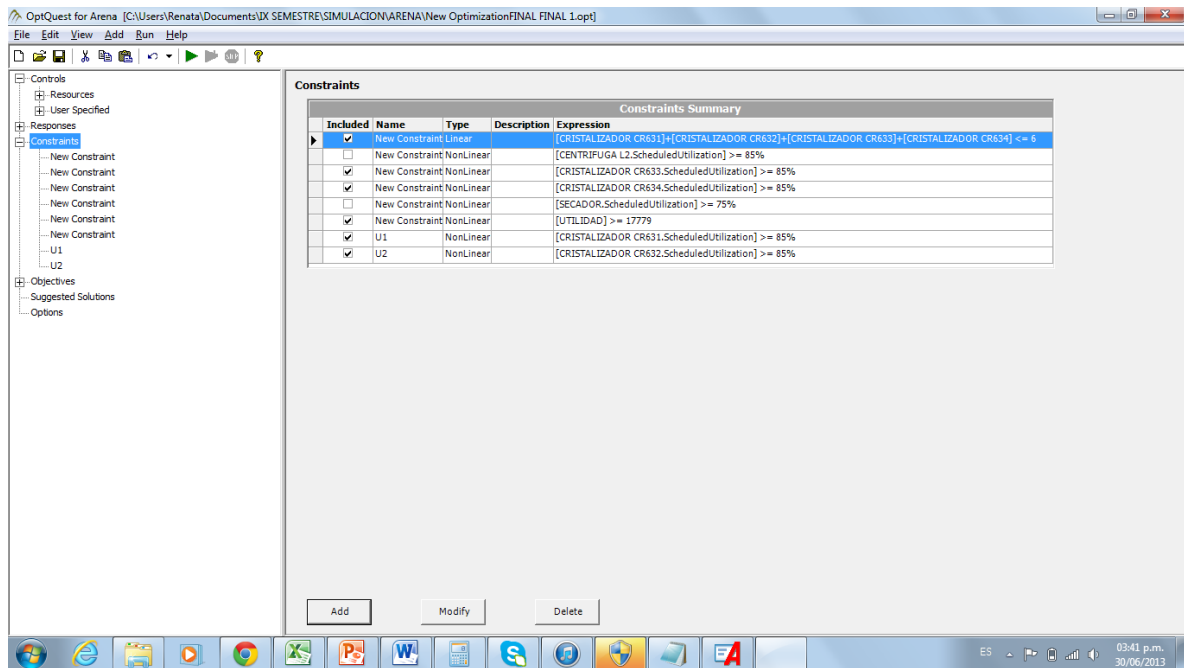
Responses Resource Scheduled Utilization

Included	Response /	Response Type
<input type="checkbox"/>	BOMBA AB1.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	BOMBA AB2.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM1.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM2.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	BOMBA IM3.ScheduledUtilization	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	CENTRIFUGA L2.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	COSEDORA.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR402.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR403.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR405.ScheduledUtilization	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR631.ScheduledUtilization	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR632.ScheduledUtilization	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR633.ScheduledUtilization	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	CRISTALIZADOR CR634.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	ENSACADORA.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	FILTRO TAMBOR.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	OPERARIO CRISTALIZACION L2.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	OPERARIO CRISTALIZACION L3.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	OPERARIO ENSACADO L2.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	OPERARIO REACCION.ScheduledUtilization	Output Value
<input type="checkbox"/>	REACTOR.ScheduledUtilization	Output Value
<input checked="" type="checkbox"/>	SECADOR.ScheduledUtilization	Output Value

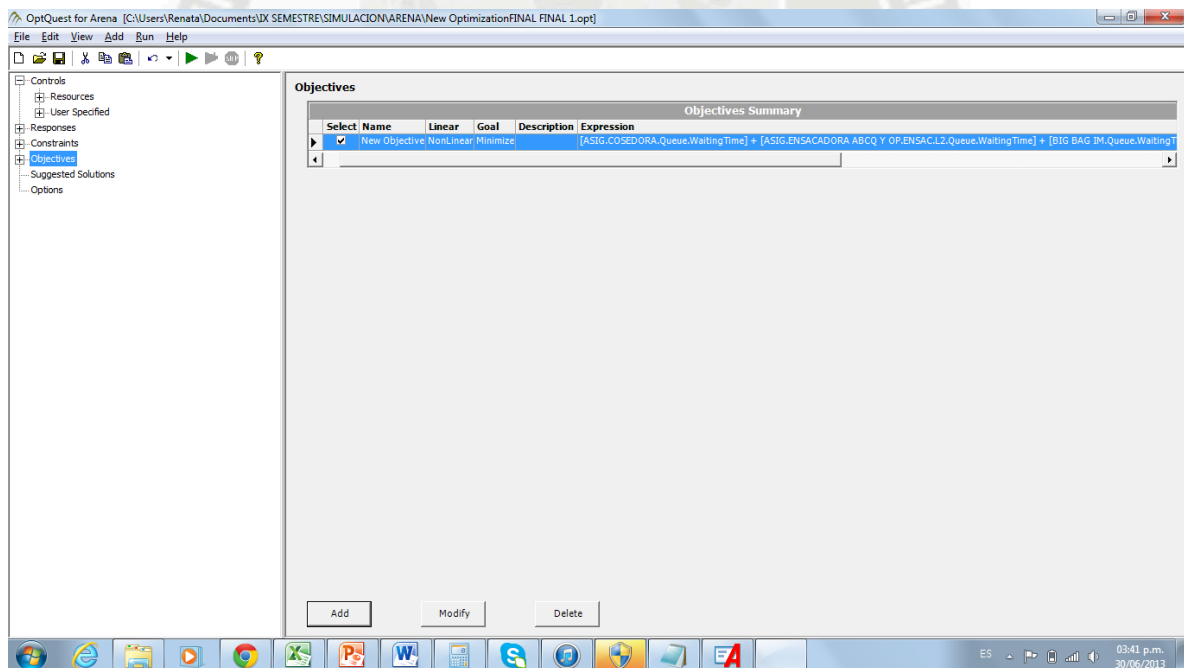
Responses User Specified Variable

Included	Response /	Response Type
<input checked="" type="checkbox"/>	COSTO IM	Variable Value
<input type="checkbox"/>	COSTOS AB	Variable Value
<input checked="" type="checkbox"/>	UTILIDAD	Variable Value
<input type="checkbox"/>	VENTAS AB	Variable Value
<input type="checkbox"/>	VENTAS IM	Variable Value

6. Debemos colocar las restricciones del modelo en la sección Constraints



7. Debemos colocar la función objetivo de la optimización e indicar si es maximización o minimización en la sección de Objectives



8. Ir a la sección Options y colocar en el número de combinaciones posibles de acuerdo a los recursos elegidos para ser variados en la parte que dice Number of Simulations y debemos desmarcar la opción de Automatic Stop. Y en el número de réplicas se coloca 1.

